

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Juliana May Sangoi

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE SISTEMAS
DE AQUECIMENTO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Enedir Ghisi, PhD

Florianópolis
2015

Sangoi, Juliana May

Análise comparativa do desempenho de sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais / Juliana May Sangoi ; Orientador, Eneir Ghisi – Florianópolis, SC, 2015.

270 p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências.

1. Eficiência energética. 2. Edificações residenciais. 3. Simulação computacional. 4. Aquecimento de água. I. Ghisi, Eneir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Juliana May Sangoi

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE SISTEMAS
DE AQUECIMENTO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Florianópolis, 22 de outubro de 2015.

Prof. Glicério Trichês, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Enedir Ghisi, PhD. – UFSC
Orientador

Prof.^a, Lúcia Helena de Oliveira, Dr^a. – USP
(videoconferência)

Prof. Roberto Lamberts, PhD. – UFSC

Prof^a. Michele Fossati, Dr^a. – UFSC

Dedico este trabalho ao meu maior
incentivador, Ricardo Pedro Bom
Filho.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rogério e Giana, por orientarem meus passos com sabedoria, e me apoiarem em todas as trajetórias com amor e carinho.

À minha irmã Mariana, pela companhia, pela paciência, e pela torcida incondicional.

Ao professor Enedir Ghisi, por, mais uma vez, aceitar me orientar e contribuir para minha formação.

Aos professores Roberto Lamberts, Michele Fossati e Lúcia Helena de Oliveira, pelas valiosas contribuições a este trabalho.

Aos colegas do mestrado, especialmente às amigas Jaqueline, Bruna e Patrícia, pela parceria nos fins de semana de estudos.

Ao Rogério e Abel, pela ajuda com as simulações.

À Fundação CERTI, por me proporcionar aprendizado, experiência e crescimento, e pela flexibilidade que permitiu a realização do mestrado; e a todos os colegas e amigos pela companhia diária, pelo apoio e compreensão.

À minha gata Fiona, minha companheira de estudos.

E especialmente ao meu amor, Ricardo, obrigada pela força, pela paciência, por estar ao meu lado em cada sorriso e em cada lágrima, por ser meu incentivo para começar e para seguir em frente.

RESUMO

Dentre os principais critérios para avaliação do desempenho de sistemas de aquecimento de água para banho em edificações residenciais pode-se citar o consumo de energia e de água. Visando diminuir o consumo de energia e promover a utilização de energias limpas, diversas políticas incentivam a utilização de sistemas mais eficientes e fontes renováveis para aquecimento de água. Entretanto, a eficiência não é determinada apenas pelo consumo de energia para aquecer a água; a análise deve considerar o desempenho do sistema como um todo, incluindo o armazenamento e a distribuição da água quente. O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho, durante a fase de operação, de diferentes tipos de sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais. Foram analisados sistemas com chuveiro elétrico, aquecedor a gás individual, aquecimento solar com apoio elétrico e com apoio a gás, em edificações unifamiliares e multifamiliares. As análises foram realizadas através de simulações computacionais com o programa EnergyPlus, considerando cinco cidades brasileiras de climas diferentes: Curitiba, São Paulo, Brasília, Salvador e Belém. Os sistemas foram comparados quanto ao consumo de energia final, energia primária e consumo de água. Verificou-se que os sistemas com chuveiro elétrico, que tem menor vazão, levam a um menor consumo de água e de energia primária. Para residências unifamiliares, o aquecimento solar combinado com chuveiro elétrico é a opção com menor consumo energético, e o sistema solar com resistência elétrica no reservatório com água armazenada a 60°C é o que mais consome energia primária. Para os edifícios multifamiliares, o aquecimento solar, principalmente se combinado com aquecedores a gás, se mostra uma alternativa de baixo consumo. Entretanto, para edifícios de maior porte e para cidades de clima frio, em que as perdas térmicas na distribuição são mais significativas, o chuveiro elétrico é a opção mais eficiente. Foi verificada também a influência do uso de isolante térmico nas tubulações de água quente no desempenho do sistema. Observou-se que o isolante influencia pouco no desempenho para pequenos comprimentos de tubulação, mas, para maiores comprimentos, a não utilização do isolante resulta em reduções significativas na temperatura de banho, principalmente em locais de clima frio. Foram comparados, ainda, os custos de instalação, de operação, e o custo global de cada tipo de aquecimento, e concluiu-se que o consumo de água e energia durante a operação é o fator mais impactante no custo global dos sistemas. Os sistemas simulados foram dimensionados segundo os requisitos para

etiquetagem de eficiência energética de unidades habitacionais (INMETRO, 2012), e o nível de eficiência foi comparado com os resultados de consumo de energia primária. Os resultados foram conflitantes, sendo que sistemas com baixo consumo anual de energia, como chuveiros elétricos, são classificados com os piores níveis de eficiência, enquanto que sistemas de alto consumo, como aquecedores a gás individuais e sistema solar com resistência elétrica no reservatório, são classificados com os níveis mais altos.

Palavras-chave: Aquecimento de água. Desempenho. Eficiência energética. Edificações residenciais. Simulação computacional.

ABSTRACT

Among the main parameters to evaluate the performance of water heating systems in residential buildings, one that can be named is the consumption of energy and water. Aiming to reduce the energy consumption and promote the use of clean energy, many policies incentive the use of more efficient systems and renewable energy to heat water. However, the efficiency is not defined only by the consumption of energy to heat the water; the analysis must consider the performance of the complete system, including the storage of hot water and its distribution. The objective of this research is to analyze the performance of different types of water heating systems in residential buildings during operation. Systems with electric shower, individual gas heater and solar heater, with electric and gas backup, were analyzed for houses and apartment buildings. The analysis were performed by computer simulation using the EnergyPlus software, considering five Brazilian cities with different climate conditions: Curitiba, São Paulo, Brasília, Salvador e Belém. The systems were compared in terms of their final energy, primary energy and water consumption. Electric shower systems, which have the lowest flow rate, leads to the lowest consumption of water and primary energy. For houses, the solar heating system with electric shower is the option with the lowest energy consumption, and the solar heating system with electric heater in the storage tank, with water storage at 60°C, is the system that consumes more primary energy. For apartment buildings, solar water heating systems, especially with gas heater backup, are an option with low consumption. However, for larger buildings and for cities with cold weather, where the heat losses are more significant, electric shower is the most efficient option. The influence of the use of thermal insulation in hot water pipes was also analyzed. It was observed that the insulation has low influence in the performance for short pipes. In the other hand, for longer pipes, not using the insulation takes to significant reduction in the shower temperature, especially for cold weather places. The costs of installation, operation and global costs of each type of water heating systems were also compared, and it can be concluded that the consumption of water and energy during operation is the most important aspect in the system's global cost. The water heating systems were dimensioned following the standards for energy efficiency labeling for residential buildings (INMETRO, 2012). The efficiency levels were compared to the primary energy consumption, and the results were conflicting. Low annual energy consumption systems, like electric

showers, are classified with the worst efficiency levels, while systems with high consumption, as gas heaters and solar heating with electric resistance in the storage tank, are classified with the highest levels.

Keywords: *Water heating, performance, energy efficiency, residential buildings, computer simulation.*

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Curva de carga diária média típica da classe residencial no Brasil | 29 |
| Figura 2 – Participação no consumo final no setor residencial | 35 |
| Figura 3 – Fontes de energia utilizadas para aquecimento de água para banho | 37 |
| Figura 4 - Tipos de sistema de aquecimento de água usado em estados brasileiros | 38 |
| Figura 5 – Participação das fontes de energia no aquecimento de água para banho nos domicílios | 39 |
| Figura 6 – Pretensão dos consumidores em trocar o chuveiro elétrico por aquecedor solar ou a gás | 40 |
| Figura 7 – Geração de eletricidade por fonte de energia em diferentes países | 49 |
| Figura 8 – Variação do fator de conversão da eletricidade em energia primária no Brasil entre 1970 e 2009 | 50 |
| Figura 9 – Comparação do consumo de energia final para aquecimento de água por diferentes sistemas | 51 |
| Figura 10 – Consumo de energia primária para aquecimento de água, considerando os valores médios de fator de conversão para Estados Unidos, Alemanha e França | 52 |
| Figura 11 – Consumo de energia primária para aquecimento de água, considerando os valores de fator de conversão para o Brasil | 53 |
| Figura 12 – Fluxograma de entradas e saídas de análise de sistemas solares com o programa EnergyPlus | 61 |
| Figura 13 – Exemplo de unidade habitacional | 72 |
| Figura 14 – Exemplo de edifício multifamiliar de quatro pavimentos (a) e de doze pavimentos (b) | 73 |
| Figura 15 – Localização das cidades consideradas | 75 |
| Figura 16 – Temperatura média mensal das cidades analisadas | 75 |
| Figura 17 – Planta baixa ilustrando os comprimentos de tubulação entre os aquecedores e o chuveiro no sistema a gás nas unidades habitacionais | 90 |
| Figura 18 – Esquema vertical ilustrando o comprimento de tubulação entre o reservatório e o chuveiro no aquecimento solar da casa. | 90 |
| Figura 19 – Esquema vertical ilustrando os comprimentos de tubulação no edifício multifamiliar de quatro pavimentos | 91 |
| Figura 20 – Fluxograma dos tipos de sistemas e cenários simulados para a edificação unifamiliar | 94 |

| | |
|--|-----|
| Figura 21 – Fluxograma dos tipos de sistemas e cenários simulados para edificações multifamiliares | 95 |
| Figura 22 – Consumo de energia elétrica dos sistemas com chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico, para a residência unifamiliar em Curitiba | 115 |
| Figura 23 – Consumo de energia elétrica dos sistemas com chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico, para a residência unifamiliar em São Paulo. | 115 |
| Figura 24 – Consumo de energia elétrica dos sistemas com chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico, para a residência unifamiliar em Brasília | 116 |
| Figura 25 – Consumo de energia elétrica dos sistemas com chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico, para a residência unifamiliar em Salvador | 116 |
| Figura 26 – Consumo de energia elétrica dos sistemas com chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico, para a residência unifamiliar em Belém. | 117 |
| Figura 27 – Consumo de energia final dos sistemas com aquecedor a gás instantâneo na residência unifamiliar | 118 |
| Figura 28 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório para residência unifamiliar em Curitiba | 119 |
| Figura 29 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar..... | 119 |
| Figura 30 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório para residência unifamiliar em Brasília | 120 |
| Figura 31 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório para residência unifamiliar em Salvador | 120 |
| Figura 32 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório para residência unifamiliar em Belém | 121 |
| Figura 33 – Consumo anual de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar com <i>backup</i> elétrico para residência unifamiliar ... | 122 |
| Figura 34 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade, para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba. | 123 |
| Figura 35 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade, para residência multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo | 123 |

| | |
|---|-----|
| Figura 36 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade, para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília | 124 |
| Figura 37 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade, para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Salvador..... | 124 |
| Figura 38 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade, para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Belém | 124 |
| Figura 39 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba..... | 127 |
| Figura 40 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo..... | 127 |
| Figura 41 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília | 128 |
| Figura 42 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Salvador | 128 |
| Figura 43 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Belém | 128 |
| Figura 44 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência unifamiliar em Curitiba, considerando cenário atual (a) e cenário crítico (b) | 131 |
| Figura 45 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência unifamiliar em São Paulo, considerando cenário atual (a) e cenário crítico (b) | 131 |
| Figura 46 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência unifamiliar em Brasília, considerando cenário atual (a) e cenário crítico (b) | 132 |
| Figura 47 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência unifamiliar em Salvador, considerando cenário atual (a) e cenário crítico (b). | 133 |
| Figura 48 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência unifamiliar em Belém considerando cenário atual (a) e cenário crítico (b)..... | 133 |
| Figura 49 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência multifamiliar em Curitiba, considerando cenário atual e cenário crítico | 136 |
| Figura 50 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência multifamiliar em São Paulo, considerando cenário atual e cenário crítico | 136 |

| | |
|--|-----|
| Figura 51 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência multifamiliar em Brasília, considerando cenário atual e cenário crítico | 137 |
| Figura 52 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência multifamiliar em Salvador, considerando cenário atual e cenário crítico | 137 |
| Figura 53 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência multifamiliar em Belém, considerando cenário atual e cenário crítico | 138 |
| Figura 54 – Variação na temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento a gás em residência unifamiliar em Curitiba | 140 |
| Figura 55 – Variação na temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento a gás em residência unifamiliar em Belém | 142 |
| Figura 56 – Custo global dos sistemas de aquecimento de água para residência unifamiliar..... | 157 |
| Figura 57 – Custo global dos sistemas de aquecimento de água para edificação multifamiliar de quatro pavimentos..... | 158 |
| Figura 58 – Custo global dos sistemas de aquecimento de água para edificação multifamiliar de doze pavimentos | 158 |
| Figura 59 – Tempo de retorno de investimento do sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico, em comparação ao sistema apenas com chuveiro elétrico, para residência unifamiliar | 159 |
| Figura 60 – Tempo de retorno de investimento do isolamento térmico em sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico, para residência unifamiliar..... | 161 |
| Figura 61 – Tempo de retorno de investimento do isolamento térmico em sistema de aquecimento solar com apoio a gás, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos | 161 |
| Figura 62 – Tempo de retorno de investimento do isolamento térmico em sistema de aquecimento solar com apoio a gás, para edifício multifamiliar de doze pavimentos..... | 162 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 – Usos finais de energia em residências no Brasil..... | 36 |
| Tabela 2 – Condutividade térmica de materiais usados em tubos de água quente e isolantes térmicos..... | 55 |
| Tabela 3 – Características das cidades analisadas..... | 74 |
| Tabela 4 – Sistemas analisados na edificação unifamiliar | 76 |
| Tabela 5 – Sistemas analisados nas edificações multifamiliares..... | 77 |
| Tabela 6 – Temperaturas de banho consideradas nas simulações..... | 84 |
| Tabela 7 – Distribuição dos banhos na edificação multifamiliar | 85 |
| Tabela 8 – Parâmetros dos coletores solares considerados no dimensionamento (Inmetro) e nas simulações com o EnergyPlus | 87 |
| Tabela 9 – Tipos de sistema de aquecimento solar simulados para residência unifamiliar..... | 88 |
| Tabela 10 – Tipos de sistema de aquecimento solar simulados para residência multifamiliar..... | 89 |
| Tabela 11 – Características das tubulações consideradas na simulação da edificação unifamiliar..... | 92 |
| Tabela 12 – Características das tubulações do sistema de distribuição consideradas na simulação da edificação multifamiliar de quatro pavimentos | 92 |
| Tabela 13 – Características das tubulações do sistema de distribuição consideradas na simulação da edificação multifamiliar de doze pavimentos | 93 |
| Tabela 14 – Fatores de conversão em energia primária para o Brasil... .. | 96 |
| Tabela 15 – Dimensionamento do chuveiro elétrico..... | 106 |
| Tabela 16 – Dimensionamento do aquecedor a gás instantâneo individual..... | 106 |
| Tabela 17 – Dimensionamento do sistema de aquecimento a gás coletivo do edifício de quatro pavimentos | 107 |
| Tabela 18 – Dimensionamento do sistema de aquecimento a gás coletivo do edifício de doze pavimentos..... | 107 |
| Tabela 19 – Dimensionamento do sistema de aquecimento solar para edificação unifamiliar, considerando chuveiro elétrico como aquecimento auxiliar | 109 |
| Tabela 20 – Dimensionamento do sistema de aquecimento solar para edificação unifamiliar, considerando resistência elétrica no reservatório e temperatura de armazenamento de 60°C..... | 110 |
| Tabela 21 – Dimensionamento do sistema de aquecimento solar para edificação unifamiliar, considerando resistência elétrica no reservatório e temperatura de armazenamento de 45°C..... | 111 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 22 – Dimensionamento do sistema de aquecimento solar para edificação multifamiliar de quatro pavimentos..... | 112 |
| Tabela 23 – Dimensionamento do sistema de aquecimento solar para edificação multifamiliar de doze pavimentos | 112 |
| Tabela 24 – Comparação do consumo anual de energia elétrica da residência unifamiliar com chuveiro elétrico e com aquecimento solar com chuveiro elétrico..... | 117 |
| Tabela 25 – Comparação do consumo anual de eletricidade das residências multifamiliares com chuveiro elétrico e com aquecimento central solar com boiler elétrico..... | 126 |
| Tabela 26 – Comparação do consumo anual de energia final das residências multifamiliares com aquecedor a gás individual e com aquecimento central solar e gás. | 129 |
| Tabela 27 – Temperatura na saída do tubo de água quente no horário do banho, para aquecimento a gás residência unifamiliar em Curitiba..... | 141 |
| Tabela 28 – Temperatura na saída do tubo de água quente no horário do banho, para aquecimento a gás residência unifamiliar em Belém. | 143 |
| Tabela 29 – Comparação do consumo anual de eletricidade do sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico para residência unifamiliar, com e sem isolamento térmico nas tubulações. | 145 |
| Tabela 30 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de fevereiro | 147 |
| Tabela 31 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de agosto | 147 |
| Tabela 32 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de fevereiro..... | 148 |
| Tabela 33 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de agosto..... | 148 |
| Tabela 34 – Comparação do consumo anual de energia final do sistema de aquecimento solar com gás para residência multifamiliar, com e sem isolamento térmico nas tubulações..... | 149 |
| Tabela 35 – Comparação do consumo de água para sistemas com chuveiro de 3 e 12 litros por minuto, para uma unidade habitacional.. | 151 |
| Tabela 36 – Volume de água desperdiçado por banho, para residência unifamiliar..... | 152 |
| Tabela 37 – Volume de água desperdiçado por banho considerando aquecimento central coletivo, para unidade habitacional do primeiro | |

| | |
|--|-----|
| pavimento | 153 |
| Tabela 38 – Custo de investimento dos sistemas de aquecimento de água para residência unifamiliar | 154 |
| Tabela 39 – Custo de investimento dos sistemas de aquecimento de água para edificação multifamiliar de quatro pavimentos | 154 |
| Tabela 40 – Custo de investimento dos sistemas de aquecimento de água para edificação multifamiliar de doze pavimentos | 155 |
| Tabela 41 – Custo anual de operação dos sistemas de aquecimento de água para residência unifamiliar..... | 156 |
| Tabela 42 – Custo anual de operação dos sistemas de aquecimento de água para edifício multifamiliar de quatro pavimentos | 156 |
| Tabela 43 – Custo anual de operação dos sistemas de aquecimento de água para edifício multifamiliar de doze pavimentos..... | 156 |
| Tabela 44 – Taxa interna de retorno do sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico, em comparação ao sistema apenas com chuveiro elétrico, para residência unifamiliar | 160 |
| Tabela 45 – Comparação entre o consumo de energia primária e o nível de eficiência segundo o RTQ-R, para residência unifamiliar..... | 162 |
| Tabela 46 – Comparação entre o consumo de energia primária e o nível de eficiência segundo o RTQ-R, para residência multifamiliar de quatro pavimentos | 163 |
| Tabela 47 – Comparação entre o consumo de energia primária e o nível de eficiência segundo o RTQ-R, para residência multifamiliar de doze pavimentos | 164 |
| Tabela 48 – Sistemas de aquecimento de água com o melhor desempenho sob os aspectos analisados, para residência unifamiliar . | 167 |
| Tabela 49 – Sistemas de aquecimento de água com o melhor desempenho sob os aspectos analisados, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos | 169 |
| Tabela 50 – Sistemas de aquecimento de água com o melhor desempenho sob os aspectos analisados, para edifício multifamiliar de doze pavimentos..... | 171 |
| Tabela 51 – Temperatura na saída do tubo de água quente no horário do banho, para aquecimento a gás residência unifamiliar em São Paulo . | 196 |
| Tabela 52 – Temperatura na saída do tubo de água quente no horário do banho, para aquecimento a gás residência unifamiliar em Brasília..... | 198 |
| Tabela 53 – Temperatura na saída do tubo de água quente no horário do banho, para aquecimento a gás residência unifamiliar em Salvador... | 200 |
| Tabela 54 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de fevereiro | 201 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 55 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de maio..... | 202 |
| Tabela 56 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de agosto | 203 |
| Tabela 57 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de novembro | 204 |
| Tabela 58 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de fevereiro | 205 |
| Tabela 59 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de maio..... | 206 |
| Tabela 60 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de agosto | 207 |
| Tabela 61 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de novembro | 208 |
| Tabela 62 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de fevereiro..... | 209 |
| Tabela 63 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de maio | 210 |
| Tabela 64 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de agosto..... | 211 |
| Tabela 65 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de novembro | 212 |
| Tabela 66 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de fevereiro | 213 |
| Tabela 67 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de maio | 214 |
| Tabela 68 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro | |

| | |
|--|-----|
| pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de agosto | 215 |
| Tabela 69 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de novembro..... | 216 |
| Tabela 70 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de fevereiro | 217 |
| Tabela 71 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de maio..... | 218 |
| Tabela 72 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de agosto | 219 |
| Tabela 73 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de novembro | 220 |
| Tabela 74 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de fevereiro. | 221 |
| Tabela 75 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de maio..... | 222 |
| Tabela 76 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de agosto | 223 |
| Tabela 77 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de novembro..... | 224 |
| Tabela 78 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de fevereiro | 225 |
| Tabela 79 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de maio..... | 226 |
| Tabela 80 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de agosto | 227 |
| Tabela 81 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de novembro..... | 228 |
| Tabela 82 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do | |

| | |
|---|-----|
| 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de fevereiro..... | 229 |
| Tabela 83 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de maio | 230 |
| Tabela 84 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de agosto..... | 231 |
| Tabela 85 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de novembro | 232 |
| Tabela 86 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de fevereiro | 233 |
| Tabela 87 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de maio | 234 |
| Tabela 88 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de agosto | 235 |
| Tabela 89 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de novembro | 236 |
| Tabela 90 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de fevereiro..... | 237 |
| Tabela 91 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de maio | 238 |
| Tabela 92 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de agosto..... | 239 |
| Tabela 93 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de novembro | 240 |
| Tabela 94 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para residência unifamiliar | 244 |
| Tabela 95 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para o edifício multifamiliar de quatro pavimentos | 248 |
| Tabela 96 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para o edifício multifamiliar de doze pavimentos..... | 252 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 97 – Detalhamento do custo de operação dos sistemas de aquecimento para residência unifamiliar..... | 256 |
| Tabela 98 – Detalhamento do custo de operação dos sistemas de aquecimento para edifício multifamiliar de quatro pavimentos | 259 |
| Tabela 99 – Detalhamento do custo de operação dos sistemas de aquecimento para edifício multifamiliar de doze pavimentos..... | 261 |
| Tabela 100 – Fator de armazenamento..... | 264 |
| Tabela 101 – Fator de ocupação para cálculo do volume de consumo diário | 266 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 Introdução..... | 29 |
| 1.1 Objetivos..... | 32 |
| 1.1.1.Objetivo geral..... | 32 |
| 1.1.2 Objetivos específicos..... | 32 |
| 1.2 Delimitação do trabalho..... | 33 |
| 1.3 Estrutura do trabalho..... | 34 |
| 2 Revisão Bibliográfica..... | 35 |
| 2.1 Consumo de energia em residências..... | 35 |
| 2.2 Sistemas de aquecimento de água para banho..... | 41 |
| 2.2.1 Sistemas instantâneos e de acumulação..... | 41 |
| 2.2.2 Geração de água quente e fontes de energia..... | 42 |
| 2.2.2.1 Eletricidade..... | 43 |
| 2.2.2.2 Gases combustíveis..... | 44 |
| 2.2.2.3 Aquecimento Solar..... | 45 |
| 2.2.2.4 Energia primária..... | 48 |
| 2.2.3 Distribuição de água quente..... | 54 |
| 2.2.3.1 Perdas térmicas nas tubulações..... | 55 |
| 2.2.3.2 Circulação da água quente..... | 58 |
| 2.3 Análise do consumo de energia..... | 60 |
| 2.3.1 Simulação computacional..... | 60 |
| 2.3.2 Medições em edifícios reais..... | 64 |
| 2.4 Análise de Ciclo de Vida..... | 66 |
| 2.5 Considerações finais..... | 69 |
| 3 Método..... | 71 |
| 3.1 Tipologia das edificações..... | 71 |
| 3.2 Localização e condições climáticas..... | 74 |
| 3.3 Tipos de sistemas de aquecimento de água..... | 76 |
| 3.4 Dimensionamento dos sistemas..... | 77 |
| 3.4.1 Chuveiro elétrico..... | 78 |
| 3.4.2 Aquecedor a gás..... | 79 |
| 3.4.3 Aquecimento solar..... | 80 |
| 3.5 Simulação computacional..... | 82 |
| 3.5.1 Parâmetros considerados nos modelos de simulação..... | 83 |
| 3.5.2 Modelos com chuveiro elétrico e aquecedor a gás..... | 85 |

| | |
|--|------------|
| 3.5.3 Modelo com sistema de aquecimento solar..... | 86 |
| 3.5.4 Tubulações..... | 89 |
| 3.5.5 Síntese dos cenários simulados..... | 93 |
| 3.6 Consumo de energia final..... | 95 |
| 3.7 Consumo de energia primária..... | 95 |
| 3.8 Perdas térmicas nas tubulações..... | 96 |
| 3.9 Consumo de água..... | 97 |
| 3.10 Análise de custos..... | 98 |
| 3.10.1 Custo de instalação..... | 98 |
| 3.10.2 Custo de operação..... | 99 |
| 3.10.3 Custo global..... | 100 |
| 3.10.4 Análise de investimento..... | 101 |
| 3.11 Comparação com o nível de eficiência segundo o RTQ-R..... | 102 |
| 3.11.1 Sistema de aquecimento solar..... | 103 |
| 3.11.2 Sistema de aquecimento a agás..... | 103 |
| 3.11.3 Chuveiro elétrico..... | 103 |
| 3.11.4 Determinação do nível de eficiência do sistema de aquecimento de água..... | 103 |
| 4 Resultados..... | 105 |
| 4.1 Dimensionamento dos sistemas..... | 105 |
| 4.1.1 Chuveiro elétrico..... | 105 |
| 4.1.2 Aquecedor a gás..... | 106 |
| 4.1.2.1 Aquecedor a gás instantâneo..... | 106 |
| 4.1.2.2 Sistema central a gás..... | 106 |
| 4.1.3 Aquecimento solar..... | 108 |
| 4.1.3.1 Residência unifamiliar..... | 108 |
| 4.1.3.2 Residência multifamiliar..... | 111 |
| 4.2 Análise do consumo de energia final..... | 114 |
| 4.2.1 Edificação unifamiliar..... | 114 |
| 4.2.1.1 Sistemas com chuveiro elétrico (3,0 litros por minuto)..... | 114 |
| 4.2.1.2 Sistemas com chuveiro de 12,0 litros por minuto..... | 118 |
| 4.2.2 Edificação multifamiliar..... | 122 |
| 4.2.2.1 Sistemas que utilizam energia elétrica..... | 122 |
| 4.2.2.2 Sistema que utilizam gás combustível..... | 126 |
| 4.3 Análise do consumo de energia primária..... | 129 |

| | |
|---|------------|
| 4.3.1 Edificação unifamiliar..... | 129 |
| 4.3.2 Edificação multifamiliar..... | 134 |
| 4.4 Análise das perdas térmicas nas tubulações..... | 138 |
| 4.4.1 Edificação unifamiliar..... | 139 |
| 4.4.2 Edificação multifamiliar..... | 145 |
| 4.4.2.1 Edifício de quatro pavimentos..... | 145 |
| 4.4.2.2 Edifício de doze pavimentos..... | 149 |
| 4.5 Análise do consumo de água..... | 150 |
| 4.6 Análise de custos..... | 153 |
| 4.6.1 Custo de instalação..... | 153 |
| 4.6.2 Custo de operação..... | 155 |
| 4.6.3 Custo global..... | 157 |
| 4.6.4 Análise de investimento..... | 159 |
| 4.7 Comparação entre o consumo de energia primária e a avaliação de eficiência energética pelo RTQ-R..... | 162 |
| 4.8 Síntese da comparação entre os sistemas..... | 165 |
| 5 Conclusões..... | 173 |
| 5.1 Limitações..... | 176 |
| 5.2 Sugestões para trabalhos futuros..... | 178 |
| Referências..... | 179 |
| Apêndice A - Consumo de energia final dos sistemas de aquecimento de água da residência multifamiliar de doze pavimentos..... | 191 |
| Apêndice B - Variação da temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento a gás em residência unifamiliar..... | 195 |
| Apêndice C - Variação da temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento central solar com apoio a gás em residência multifamiliar de quatro pavimentos..... | 201 |
| Apêndice D - Variação da temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento central solar com apoio a gás em residência multifamiliar de doze pavimentos..... | 221 |
| Apêndice E - Tabelas de custos dos sistemas de aquecimento de água..... | 241 |

| | |
|---|------------|
| Anexo A - Método para dimensionamento do sistema de aquecimento de água a gás de acumulação segundo a NBR 16057 (ANBT, 2012) | 263 |
| Anexo B - Método para dimensionamento do sistema de aquecimento solar pelo RTQ-R (INMETRO, 2012)..... | 266 |

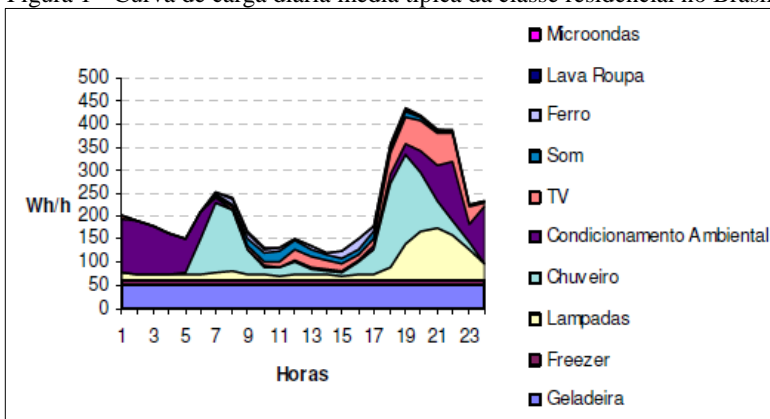
1 Introdução

O desempenho de um sistema de aquecimento de água residencial é avaliado em função de critérios como consumo de energia e de água, atendimento à temperatura de consumo, saúde e segurança dos usuários, durabilidade, entre outros. Um dos principais critérios de escolha de um tipo de sistema em relação a outro é o consumo de energia.

No Brasil, 24,2% da energia elétrica é consumida pelo setor residencial (BRASIL, 2014a). Do consumo de eletricidade das residências, quase um quarto corresponde ao aquecimento de água para banho, sendo que mais de 73% dos domicílios brasileiros possuem chuveiro elétrico (ELETROBRAS, 2007), principalmente devido ao seu baixo custo de implantação.

Além de representar uma parcela alta do gasto de energia do usuário, o chuveiro elétrico também é um problema para as concessionárias de energia. Seu uso ocorre principalmente no início da manhã e entre o fim da tarde e o início da noite, como demonstrado na curva de carga diária média do Brasil, ilustrada na Figura 1. Estes horários coincidem com os horários de alta demanda da rede elétrica, principalmente no início da noite, em que acontece também o acionamento da iluminação e eletrodomésticos, enquanto parte do setor comercial ainda está em funcionamento. Como os chuveiros elétricos utilizam a energia para aquecer a água simultaneamente ao banho, ocorre uma grande demanda de energia da rede no horário de pico (ALTOÉ, 2012; NASPOLINI; RÜTHER, 2012).

Figura 1 - Curva de carga diária média típica da classe residencial no Brasil



Fonte: Eletrobrás (2007).

Além do chuveiro elétrico, existem diversos tipos de sistemas de aquecimento de água, como aquecedores a gás, bombas de calor e sistemas de aquecimento solar. A escolha do sistema ideal para uma edificação deve considerar fatores como consumo de energia, impactos no meio ambiente, custos operacionais e de investimento inicial. Fatores como o clima do local onde a edificação está inserida, fonte de energia utilizada, tipo e arranjo do sistema influenciam no seu desempenho (IBRAHIM et al., 2013).

Visando diminuir o consumo de eletricidade e promover a utilização de energias limpas, diversas políticas no mundo incentivam a utilização de sistemas mais eficientes e fontes renováveis de energia para aquecimento de água. Países como China, Israel, Nova Zelândia e vários países da Europa criaram políticas públicas para promover a utilização de aquecimento solar nas residências. Podem-se citar políticas de subsídio financeiro, de créditos tributários, e até mesmo políticas de obrigatoriedade (ROULLEAU; LLOYD, 2008). De acordo com Napolini e Rüther (2012), o incentivo ao uso de energia solar é economicamente viável para o setor público, mais até do que para o usuário individual. Isso porque a substituição do chuveiro elétrico pelo aquecimento solar tem um impacto significativo na redução da demanda de energia no horário de pico. Por outro lado, para o consumidor, principalmente de baixa renda, a economia gerada por este sistema pode não ser suficiente para compensar o seu alto investimento.

No Brasil, algumas cidades e estados já possuem leis obrigando a utilização de aquecimento solar para atender uma parcela mínima da demanda de água quente. Na cidade de São Paulo, a Lei nº 14.459/2007 obriga que novos edifícios de uso residencial e não residencial tenham pelo menos 40% da demanda de água quente atendida por energia solar. No estado do Rio de Janeiro, os edifícios públicos novos ou que passem por reforma devem ter pelo menos 40% da demanda de água quente atendida por sistema solar, de acordo com a Lei estadual nº 5.184/2008.

O programa social de habitação Minha Casa Minha Vida, do Ministério das Cidades, exige a instalação de sistemas de aquecimento solar em habitações unifamiliares, e opcionalmente para edifícios multifamiliares, para todas as regiões do Brasil. O programa especifica alguns parâmetros para coletores, reservatórios e tubulações, visando um bom desempenho do sistema (CAIXA, 2015).

As certificações de eficiência energética de edificações também são importantes ferramentas para incentivar projetos mais eficientes. O Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edifícios (PBE Edifica) classifica as edificações residenciais e comerciais quanto à eficiência

energética, possibilitando ao consumidor a escolha de sistemas mais eficientes. Para residências, o programa ainda é voluntário.

Nas unidades habitacionais, de acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2012), a utilização de energia solar, gás natural, gás liquefeito de petróleo ou bombas de calor pode levar aos melhores níveis de eficiência para o sistema de aquecimento de água. Por outro lado, aquecedores elétricos e caldeiras a óleo não são estimulados. É pré-requisito que as tubulações de água quente sejam adequadas para este fim, e possuam isolamento térmico com espessuras mínimas indicadas conforme o material e diâmetro da tubulação. A avaliação da etiquetagem fornece uma estimativa da eficiência energética do sistema de aquecimento implantado. Mesmo sendo uma avaliação simplificada, é importante que os requisitos exigidos e o método de avaliação sejam coerentes com a real eficiência do sistema instalado.

Considerar um sistema mais eficiente energeticamente do que outro, comparando apenas o consumo de energia final, pode levar a uma análise equivocada quanto ao uso de energia primária e dos recursos naturais. Fatores de conversão, calculados com base na matriz energética de cada país, consideram as perdas na extração, armazenamento e transporte para transformar a energia primária em energia final. Estudos como de Gustavsson et al. (2010), Santos (2011) e Maguire et al. (2013) mostram que a fonte de energia utilizada influencia consideravelmente na eficiência energética quanto à energia primária. Sistemas que consomem a mesma quantidade de energia final que outros, ou até menos, podem ser menos eficientes em termos de energia primária.

A energia solar é apontada por diversos autores (SHUKLA et al., 2013; ISLAM et al., 2013) como uma alternativa para reduzir o consumo de energia primária para geração de água quente. Entretanto, a utilização de sistemas solares em edificações multifamiliares pode não ser tão eficiente quanto para residências unifamiliares, podendo haver outros sistemas mais adequados.

Em edifícios verticais, quanto maior o número de pavimentos, maior será a relação entre a demanda total de água quente e o perímetro do edifício. Nesses casos, a área de cobertura pode não ser suficiente para a quantidade de coletores necessária para atender a demanda (COLMENAR-SANTOS et al., 2014).

Além disso, não só a geração de água quente deve ser considerada nas análises de desempenho e eficiência do sistema de

aquecimento de água. Diversos autores mostram que as perdas térmicas no armazenamento e distribuição de água quente, bem como o gasto de eletricidade para circulação da água, têm influência no desempenho do sistema, e no consumo de água e energia (WIEHAGEN; SIKORA, 2003; WENDT et al., 2004; CHAGURI JUNIOR, 2009; BØHM, 2013).

É importante ressaltar também que uma análise energética completa de um sistema deve considerar todo o seu ciclo de vida. Essa análise considera não só a energia consumida pelo sistema de aquecimento de água durante a sua operação, mas também a energia utilizada desde a fabricação dos equipamentos até o descarte desses no fim da sua vida útil (HERNANDEZ; KENNY, 2012). Rossi et al. (2012) afirmam que os maiores impactos nos edifícios, quanto ao consumo de água e energia, ocorrem durante a utilização dos mesmos. A fase de operação dos edifícios corresponde ao período mais longo do ciclo de vida, e gera em torno de 62 a 98% dos impactos ambientais causados durante todo o ciclo de vida. Desse modo, os autores defendem que a redução no consumo de água e energia na fase de operação seja a primeira preocupação quando se busca diminuir os impactos causados durante todo o ciclo de vida.

Diante do exposto, evidencia-se a importância de analisar o desempenho e a eficiência energética de sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais, durante a fase de operação.

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é comparar o desempenho, durante a fase de operação, de diferentes tipos e combinações de sistemas de aquecimento de água para banho em edificações residenciais.

1.1.2 Objetivos específicos

Este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Estimar o consumo anual de energia de diferentes sistemas de aquecimento de água em residências unifamiliares e multifamiliares, considerando as condições climáticas de diferentes cidades brasileiras;
- Estimar o consumo de energia primária para produção de água quente em sistemas que utilizam eletricidade, gás e energia

solar;

- Analisar as perdas térmicas na distribuição de água quente, e sua influência no desempenho do sistema de aquecimento;
- Comparar os resultados obtidos para os sistemas estudados, analisando em cada caso qual sistema é mais eficiente energeticamente;
- Estimar o consumo de água tratada em cada caso;
- Analisar os custos de instalação e de operação durante a vida útil de cada sistema;
- Comparar o consumo de energia estimado com o nível de eficiência energética do sistema de aquecimento de água de unidades habitacionais segundo o RTQ-R.

1.2 Delimitação do trabalho

A análise do desempenho de sistemas de aquecimento de água em edifícios engloba diversos fatores, como desempenho térmico, energético, consumo de água, durabilidade, funcionalidade, segurança, entre outros. O foco deste trabalho está principalmente na comparação do consumo energético de diferentes configurações de instalações e fontes de energia, sendo abordados também critérios como consumo de água, temperatura de banho, e uma análise de custos.

O estudo da eficiência energética de sistemas de aquecimento de água pode ser desenvolvido sob diversas dimensões, de modo que uma análise energética completa dos sistemas de aquecimento deveria considerar todo o seu ciclo de vida. Tal perspectiva engloba as fases de produção, operação e descarte dos equipamentos, sendo uma análise bastante complexa, e que envolve a estimativa de muitos parâmetros.

A fase de operação dos sistemas de aquecimento de água nas edificações corresponde a uma parcela significativa do consumo de energia do ciclo de vida, sendo muitas vezes a fase em que ocorre o maior consumo. Muitos trabalhos mostram que a eficiência durante a utilização dos sistemas é influenciada por diversos fatores, que muitas vezes são negligenciados em análises de eficiência. Dessa forma, este trabalho busca apresentar um estudo mais detalhado do desempenho dos sistemas especificamente na fase de operação. Os resultados obtidos poderão ser utilizados posteriormente em análises que consideram todo o ciclo de vida dos sistemas.

Diversos tipos e combinações de sistemas são utilizados para aquecer a água em edificações residenciais. Neste trabalho, foram abordados apenas os sistemas mais utilizados no Brasil.

O consumo energético e as perdas térmicas dos diferentes sistemas foram estimados através de simulação computacional com o programa EnergyPlus. A simulação é uma importante ferramenta para comparar o desempenho de diferentes parâmetros em edifícios, possibilitando a escolha do sistema mais adequado ainda na fase de projeto. Neste trabalho, não foram realizadas medições para verificação do desempenho em edifícios existentes.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro apresenta uma introdução ao tema, a caracterização do problema, a importância da pesquisa e os objetivos do trabalho.

No segundo capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre consumo de energia no setor residencial e sistemas de aquecimento de água. São abordados trabalhos que contemplam diferentes tipos de sistemas, com foco na avaliação de desempenho e eficiência energética.

O terceiro capítulo descreve as tipologias de edificações e climas que serão analisados, o método de dimensionamento dos sistemas de aquecimento de água e os parâmetros considerados na simulação computacional e na análise econômica.

O quarto capítulo traz os resultados dessa pesquisa, incluindo os consumos de energia final, energia primária e de água, a influência do isolamento térmico das tubulações no desempenho dos sistemas, e a análise de investimentos. Apresenta ainda uma análise crítica da avaliação de eficiência energética de sistemas de aquecimento de água para etiquetagem de unidades habitacionais.

O quinto e último capítulo traz as conclusões do trabalho, limitações do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

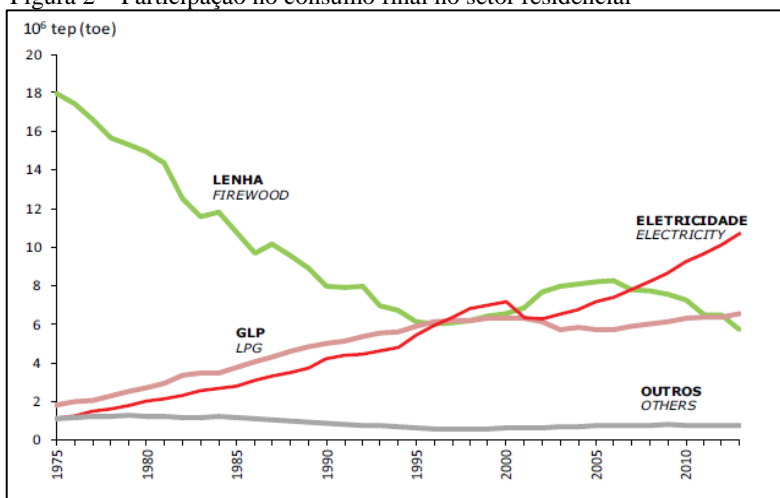
Este capítulo apresenta uma revisão da literatura quanto ao consumo energético no setor residencial, tipos de sistemas de aquecimento de água para uso doméstico, bem como pesquisas sobre o desempenho destes sistemas, com foco na eficiência energética.

2.1 Consumo de energia em residências

No setor residencial, a energia é usada para diversos fins, como iluminação, aquecimento de água, eletrodomésticos, equipamentos, preparo de alimentos, dentre outros. Em 2013, o setor residencial consumiu 9,1% de toda a energia do Brasil, sendo responsável por 24,2% do consumo de energia elétrica, de acordo com dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2014a).

O consumo de gás e eletricidade em habitações vem crescendo nos últimos anos, como mostrado na Figura 2. No ano de 2013, a principal fonte de energia utilizada pelo setor residencial foi a eletricidade, representando 45,3% do consumo, seguida do gás, com 28,9% (BRASIL, 2014).

Figura 2 – Participação no consumo final no setor residencial



Fonte: Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2014a).

Segundo pesquisa da Eletrobrás (2007), o chuveiro elétrico corresponde ao maior consumo de energia em residências no Brasil

(24%), seguido da geladeira e do condicionamento de ar, como ilustrado na

Tabela 1.

Tabela 1 – Usos finais de energia em residências no Brasil

| Uso final | Brasil | Norte | Nordeste | Centro-Oeste | Sudeste | Sul |
|---------------------------------------|------------|-------|----------|--------------|---------|-----|
| Chuveiro | 24% | 2% | 9% | 28% | 26% | 25% |
| Geladeira | 22% | 25% | 29% | 24% | 22% | 16% |
| Condicionamento ambiental | 20% | 40% | 27% | 18% | 11% | 32% |
| Lâmpadas | 14% | 14% | 11% | 12% | 19% | 8% |
| TV | 9% | 9% | 11% | 7% | 10% | 7% |
| Freezer | 5% | 4% | 5% | 4% | 5% | 7% |
| Outros usos (som, ferro e lava-roupa) | 6% | 6% | 8% | 7% | 7% | 5% |

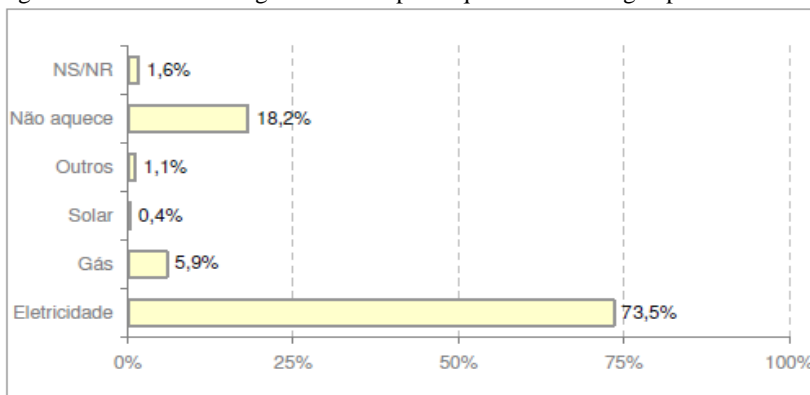
Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS (2007).

Assim como constatado na realidade brasileira, Ibrahim et al. (2013) afirmam que o aquecimento de água é um dos principais consumos de energia das residências em vários países, influenciado principalmente pelas condições climáticas. Isso faz com que, segundo Ghisi et al. (2007), a energia para produção de água quente represente parcelas diferentes do consumo energético nas diferentes zonas bioclimáticas. Em regiões mais quentes, há uma demanda maior de energia para refrigeração dos ambientes do que para aquecimento de água. Em locais de climas muito frios, o aquecimento dos ambientes acaba sendo a parcela mais significativa do consumo. Em regiões de clima ameno, em que geralmente não há tanta necessidade de climatização artificial, o aquecimento de água se torna o principal consumo de energia.

Segundo Chaguri Junior (2009), a água quente é utilizada nas residências principalmente para banho, podendo ser usada também em torneiras de cozinha e banheiros, lavadoras de roupas e de louças, ou ainda em sistemas de climatização do ambiente. O sistema de aquecimento de água para banho tem o objetivo de aquecer a água até a temperatura de conforto.

De acordo com dados da Eletrobrás (2007), 18,2% dos domicílios brasileiros não aquecem a água para banho. Das residências que possuem algum sistema de aquecimento de água, a maioria utiliza eletricidade, como mostrado na Figura 3. Ainda segundo o estudo, dos que usam eletricidade como forma de aquecimento, o chuveiro elétrico corresponde a 99,6%.

Figura 3 – Fontes de energia utilizadas para aquecimento de água para banho

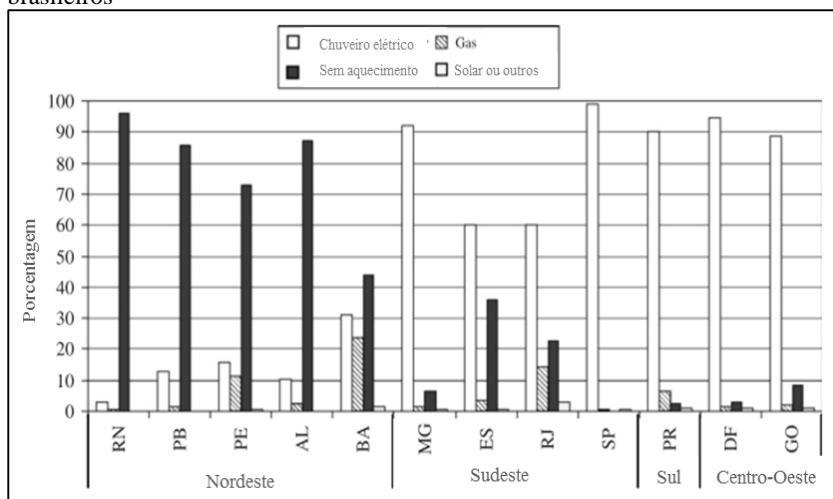


Fonte: ELETROBRÁS (2007).

As residências que não aquecem água para banho estão localizadas principalmente em regiões quentes, como o Norte e Nordeste.

A Figura 4 mostra os tipos de aquecimento de água usados em alguns estados brasileiros. Pode-se observar que nos estados do Nordeste, a maioria das habitações não possui aquecimento de água. Nos outros estados, a maioria possui aquecimento elétrico. A utilização de aquecedores a gás é baixa, mas nos estados da Bahia e do Rio de Janeiro representa uma parcela mais significativa (GHISI et al., 2007).

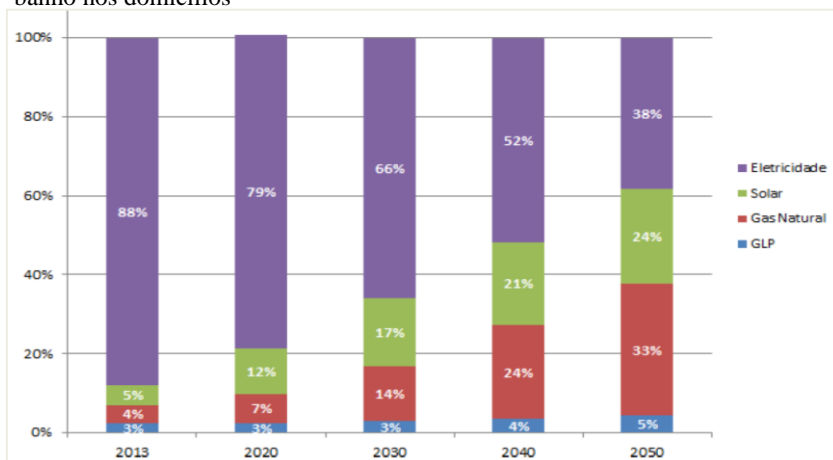
Figura 4 - Tipos de sistema de aquecimento de água usado em estados brasileiros



Fonte: Adaptado de Ghisi et al. (2007).

Segundo o Plano Nacional de Energia 2050 (BRASIL, 2014b), este cenário deve mudar nos próximos anos. Até 2050, é previsto um aumento na distribuição de gás natural, reduzindo a parcela do GLP no consumo de gases combustíveis no setor residencial. Espera-se também um crescimento no número de edificações que usam aquecimento solar, devido principalmente a incentivos como o programa Minha Casa Minha Vida. Deste modo, acredita-se que o uso do chuveiro elétrico, que atualmente é o sistema mais utilizado no Brasil, sofrerá uma significativa redução, como mostrado na Figura 5.

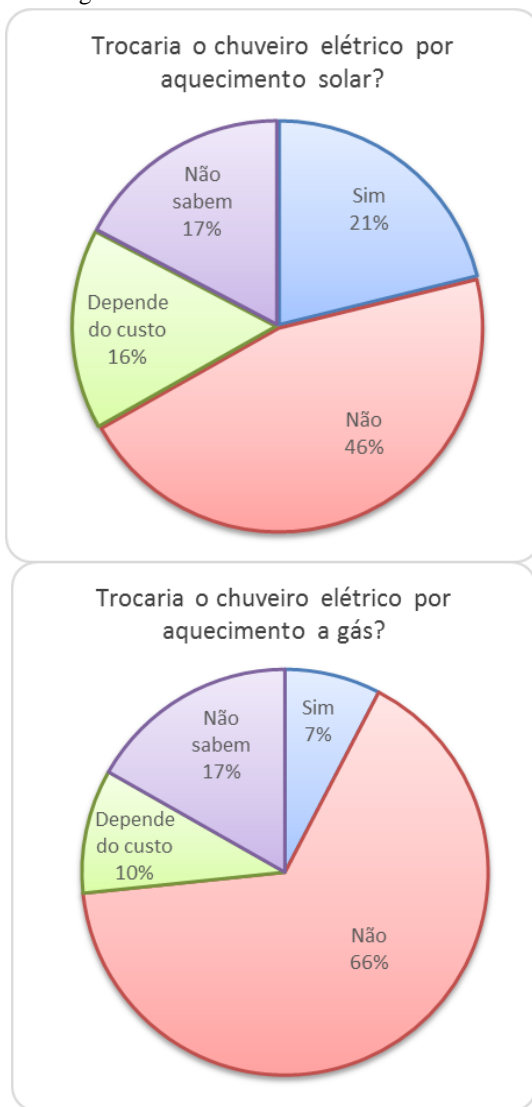
Figura 5 – Participação das fontes de energia no aquecimento de água para banho nos domicílios



Fonte: Plano Nacional de Energia 2050 (BRASIL, 2014b).

Na pesquisa da Eletrobrás (2007), dentre os domicílios que utilizam chuveiro elétrico, foi perguntado aos usuários se conheciam os sistemas de aquecimento a gás e solar. Dos que afirmaram conhecer, a maioria alega que não trocaria o sistema que possui, como mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Pretensão dos consumidores em trocar o chuveiro elétrico por aquecedor solar ou a gás



Fonte: gráfico elaborado pela autora com dados da Eletrobrás (2007).

Embora muitos autores afirmem que sistemas a gás e solares são mais eficientes que os chuveiros elétricos, percebe-se que ainda há uma resistência por parte dos consumidores em adotar estes sistemas, seja

pela falta de informação, ou pelo maior custo de investimento. Batidzirai et al. (2009) afirmam que a principal barreira para disseminação de energias renováveis para aquecimento de água é o alto custo inicial. Por isso, os autores defendem que sejam criadas políticas de financiamento e de educação dos consumidores, de forma a minimizar essas barreiras e estimular a utilização de sistemas de aquecimento mais eficientes.

2.2 Sistemas de aquecimento de água para banho

O sistema de aquecimento de água de uma residência é composto pelo sistema de geração de água quente, de reserva e de distribuição de água até os pontos de consumo. Cada uma dessas partes tem um papel importante no desempenho do sistema, e influencia no consumo energético. Nesta seção, serão apresentados estudos realizados sobre os diferentes tipos de sistemas existentes, considerando cada um destes elementos.

2.2.1 Sistemas instantâneos e de acumulação

O sistema instantâneo, ou de passagem, é aquele em que a água é aquecida no equipamento e vai diretamente para o ponto de consumo, sem reservatório. De acordo com Ibrahim et al. (2013), o sistema sem acumulação tem a vantagem de ocupar menos espaço, não haver perda de calor em *standby*, fornecer água quente continuamente (pois a água aquece ao passar pelo equipamento, conforme a necessidade), ter menor custo de operação e maior vida útil quando comparado com sistemas de acumulação. Como desvantagem, o estudo cita a necessidade de uma vazão mínima para funcionamento do sistema, demora da chegada de água quente no ponto de consumo, pois a água é aquecida sob demanda, e pode não atender muitos pontos simultaneamente.

No sistema de acumulação, a água aquecida é armazenada em um reservatório para posterior utilização. De acordo com Chaguri Junior (2009), o sistema de acumulação pode ser composto por um reservatório com uma resistência elétrica ou queimador acoplado (no caso de aquecimento a gás), ou então do tipo conjugado, quando há um aquecedor instantâneo junto a um reservatório.

Para um melhor desempenho, a entrada de água fria no reservatório deve ser pela parte inferior, e a saída pela parte superior. Essa diferença se deve à estratificação térmica, já que a água quente é menos densa que a água fria, e se concentra na parte superior do reservatório (IBRAHIM et al., 2013).

O trabalho de Han et al (2009) apresenta a importância e os benefícios da estratificação térmica dos reservatórios. Os autores afirmam que para se obter a máxima eficiência da energia armazenada a estratificação deve ocorrer. Caso ocorra a mistura da água quente com a água fria, a temperatura da água que vai para os pontos de consumo diminui, reduzindo assim o desempenho do sistema. Em sistemas com reservatórios em que ocorre a completa estratificação a eficiência pode ser até 20% maior do que reservatórios em que a água é completamente misturada.

Para que a água armazenada se mantenha na temperatura desejada, é necessário que a estrutura do reservatório tenha a menor perda térmica possível. Por isso, são utilizados isolantes térmicos, como lã de vidro ou poliuretano expandido (CHAGURI JUNIOR, 2009). Diversos autores, como Boait et al. (2012) e Vieira et al. (2014), apontam as perdas térmicas como a principal desvantagem dos sistemas com reservatório. Se mal dimensionado, o sistema de acumulação pode resultar em um consumo de energia excessivo para manter a água do reservatório aquecida. Segundo Altoé et al. (2012), se o volume do reservatório for muito superior à demanda diária de água quente, ocorre o consumo de energia elétrica para manter aquecido um volume de água que não será utilizado. No estudo de caso apresentado por Vieira et al. (2014), os resultados mostraram que, quanto maior o volume dos reservatórios com resistência elétrica, maior foi o consumo de eletricidade (diferença de aproximadamente 200 kWh por ano entre reservatório de 125 e 325 litros). Esse aumento pode ser mais ou menos significativo dependendo do clima em que a edificação está localizada.

Por outro lado, a acumulação de água quente permite que a energia seja usada fora do horário de pico, diminuindo a carga da rede neste período. Essa é uma vantagem em relação aos sistemas instantâneos, que demandam energia no momento em que a água quente é utilizada. Além disso, sistemas de acumulação podem fornecer maiores vazões de água quente simultaneamente, mas não por um longo período, visto que o volume está limitado ao volume de armazenamento. Aquecedores instantâneos podem fornecer água quente por um tempo indefinido, mas a capacidade limitada do aquecedor pode fazer com que, para grandes vazões, não se consiga aquecer a água até a temperatura desejada (WIEHAGEN; SIKORA, 2003).

2.2.2 Geração de água quente e fontes de energia

Como mostrado na seção 2.1, diversas fontes de energia podem

ser usadas para aquecimento de água. Nesta seção, serão apresentadas pesquisas sobre sistemas de aquecimento solar, a gás e elétricos, que são as fontes mais usadas no Brasil.

2.2.2.1 Eletricidade

A eletricidade é utilizada para aquecer a água principalmente através de aquecedores individuais (torneiras e chuveiros elétricos), aquecedores de acumulação (reservatórios com uma resistência elétrica), ou bombas de calor.

O chuveiro elétrico é um dispositivo que possui no seu interior uma resistência elétrica, que aquece a água à medida que ela passa pelo equipamento. A temperatura pode ser regulada tanto pela vazão da água, quanto pela chave de ajuste de temperatura, geralmente com duas a quatro posições ou controle eletrônico (NASPOLINI; RÜTHER, 2012).

Como apontado na seção 2.1 a maioria das residências brasileiras utiliza o chuveiro elétrico para aquecimento de água para banho (ELETROBRÁS, 2007), principalmente devido ao seu baixo custo de implantação. Este equipamento apresenta um alto consumo energético, sendo responsável por uma parcela considerável do gasto de energia do usuário. Além disso, por ser um sistema de aquecimento instantâneo, o consumo de energia acontece simultaneamente ao uso. A utilização do chuveiro elétrico no horário de pico (final da tarde e início da noite) é um problema para o setor energético, pois aumenta a demanda da rede elétrica em horários em que a demanda já é alta (ALTOÉ, 2012; NASPOLINI, RÜTHER, 2012). É importante ressaltar que, segundo estudo do CBSC (2014), desde 2010 vem se observando uma alteração no horário de pico para o meio da tarde nos meses de verão. No entanto, nos meses de inverno, em que a demanda de energia para aquecimento de água é mais significativa, o horário de pico mantém-se no fim da tarde e início da noite.

Os aquecedores elétricos de acumulação consistem em reservatórios de água quente com uma resistência elétrica no seu interior. De acordo com Ibrahim et al. (2013), quando comparado com aquecedores a gás, este sistema apresenta a vantagem de ser mais seguro, poder ser instalado em qualquer lugar (não há necessidade de ventilação) e não gerar gases poluentes no seu funcionamento. Entretanto, dependendo da fonte de energia que é usada para produzir eletricidade, pode-se considerar que este sistema polui indiretamente.

Wiehagen e Sikora (2003) analisaram a eficiência energética de aquecedores elétricos instantâneos e de acumulação. Os resultados

mostraram que o sistema instantâneo é mais eficiente, pois, como praticamente não há perdas térmicas, a água pode ser aquecida a uma temperatura menor. Para os sistemas em que o aquecimento ocorre no próprio ponto de consumo, a eficiência é de 100%. Para habitações com pouca demanda de água quente, a eficiência calculada para o sistema de acumulação foi de 50,31%, e para o sistema com aquecedor instantâneo de 66,21%. Para residências com um maior uso de água quente, a eficiência encontrada foi de 72,92% para o sistema de acumulação, e de 79,36% para o aquecedor instantâneo.

Quanto às bombas de calor, o princípio de funcionamento é absorver calor de uma fonte de calor, como o ar, e transferir para água. Tem como vantagem o fato de usar energia limpa e renovável, além de ser mais eficiente que aquecedores elétricos, já que produz muito mais calor com a mesma quantidade de energia, possuindo, assim, menor custo operacional. No entanto, o custo de investimento inicial deste sistema ainda é alto (IBRAHIM et al., 2013).

Maguire et al. (2013) compararam diferentes tipos de sistema de aquecimento de água, através de simulações computacionais, considerando as condições climáticas de seis cidades americanas. Em alguns casos, o sistema com bombas de calor consumiu menos energia do que o sistema solar, principalmente em edificações com condicionamento de ar e em climas frios.

Uma revisão de pesquisas relacionadas aos avanços tecnológicos de sistemas de aquecimento de água por bomba de calor é apresentada por Hepbasli e Kalinci (2009). De acordo com os autores, embora seja uma tecnologia eficiente e promissora, ainda tem pouca representatividade no mercado.

2.2.2.2 Gases combustíveis

Os gases combustíveis mais utilizados para aquecimento de água são o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e o Gás Natural (GN). A utilização do gás ao invés da eletricidade para produção de água quente contribui para redução da demanda de energia elétrica da rede nos horários de pico (COMGÁS, ABRINSTAL, 2011).

Os aquecedores a gás podem ser instantâneos ou de acumulação, como mostrado na seção 2.2.1. Por questões de segurança, os aquecedores a gás devem ser instalados em locais apropriados, garantindo a ventilação adequada para escoamento dos gases da combustão (SINDIGÁS). A necessidade de uma chaminé pode limitar as opções de espaço para instalação destes equipamentos. A produção de

poluentes na combustão dos gases é citada por Ibrahim et al. (2013) como uma das principais desvantagens deste sistema.

Maguire et al. (2013) analisaram a eficiência de diferentes sistemas de aquecimento de água, incluindo aquecedores a gás. Os autores afirmam que os aquecedores a gás de acumulação (com o queimador acoplado ao reservatório) são menos eficientes do que os instantâneos. Isso se deve principalmente à menor eficiência de combustão deste aparelho, e às perdas térmicas do reservatório. Dentre os diversos cenários analisados pelos autores, a economia de energia de um sistema de aquecimento a gás instantâneo em comparação a um de acumulação varia de 8% a 43%. Comparando-se equipamentos de acumulação, os reservatórios com resistência elétrica apresentam menos perdas térmicas do que os aquecedores a gás, principalmente devido às trocas de calor pela chaminé dos equipamentos a gás.

No estudo de Hang et al. (2012), em que foram comparados sistemas elétricos, a gás natural e solar, os sistemas que utilizam gás apresentaram melhor desempenho comparado aos que usam eletricidade. A análise considerou aspectos energéticos, econômicos e ambientais, durante todo o ciclo de vida. O sistema solar combinado com aquecedores a gás natural apresentou o menor consumo de energia primária.

Segundo Maguire et al. (2013) e Santos (2011), considerando apenas a eficiência dos equipamentos, os aquecedores elétricos são mais eficientes do que os aquecedores a gás. Entretanto, quando se considera a energia primária, os sistemas a gás são mais eficientes que os elétricos.

2.2.2.3 Aquecimento Solar

Neste tipo de sistema, a energia térmica do sol é utilizada para aquecer a água. O sistema é composto por coletores solares que absorvem a radiação e transferem o calor para a água, que fica armazenada em um reservatório para posterior utilização. Esta tecnologia vem se desenvolvendo nos últimos anos, se tornando mais sustentável, eficiente e economicamente atrativa (SHUKLA et al., 2013). A energia solar tem a vantagem de ser uma fonte renovável, limpa (sem emissão de gases poluentes durante a operação), e gratuita (sem consumo de eletricidade ou combustíveis). Entretanto, o alto custo inicial de instalação, em comparação com outras fontes, é uma das principais barreiras para disseminação deste tipo de sistema (IBRAHIM et al., 2013).

A energia solar é uma fonte intermitente, e sua utilização depende

das condições climáticas (WANG et al., 2015). Por isso, é necessário um sistema de apoio para garantir o fornecimento de água quente quando as condições climáticas não são favoráveis. Os sistemas solares geralmente são dimensionados para atender uma parcela da demanda anual, fazendo com que não consiga atender a temperatura desejada em boa parte do inverno, e esteja superdimensionado para o verão. Por isso, o sistema solar acaba sendo uma forma de pré-aquecimento da água, complementada por outros aquecedores (COLMENAR-SANTOS et al., 2014).

Segundo Kulb et al. (2013), os sistemas de aquecimento solar em residências multifamiliares podem ter diferentes configurações quanto à centralização do sistema solar e de aquecimento auxiliar. No Brasil, o sistema solar individual para cada unidade habitacional, com aquecimento auxiliar por chuveiro elétrico, é o tipo mais utilizado em habitações de interesse social. Para outras residências multifamiliares, fora da faixa de interesse social, o tipo mais comum é aquele com o sistema solar e de aquecimento de apoio centralizados, com distribuição direta.

A circulação da água entre os coletores e o reservatório pode ser de forma natural, pela diferença de densidade dos fluidos, denominado sistema passivo ou termossifão, ou por bombeamento, denominado sistema ativo (ISLAM et al., 2013). Segundo Kalogirou (2009), os sistemas com circulação por termossifão são os mais simples e mais utilizados dentre os sistemas de aquecimento solar.

Os sistemas ativos podem ser diretos ou indiretos. No sistema direto, a água aquecida pelo coletor é a mesma que vai para os pontos de consumo. No sistema indireto, um fluido (que pode ser água ou outra substância) é aquecido nos coletores solares, e aquece a água que será usada nos pontos de consumo através de um trocador de calor (SHUKLA et al., 2013). Sistemas indiretos são mais comuns em regiões em que se deve prevenir o congelamento da água nos coletores. Nestes casos, o fluido que circula pelos coletores possui temperatura de congelamento menor do que a da água (HOBBI; SIDDIQUI, 2009). Wang et al. (2015) afirmam que na maioria dos casos, sistemas indiretos têm melhor desempenho do que os diretos, principalmente em regiões de clima muito frio.

Segundo Wang et al. (2015), os sistemas ativos são geralmente mais eficientes do que os sistemas passivos. São comumente utilizados em edifícios multifamiliares, que exigem um sistema maior, e em que os coletores não estarão necessariamente próximos ao reservatório. Contudo, pode ser citado como desvantagem o fato de o funcionamento

do sistema depender de eletricidade, além de ser um sistema mais complexo e de maior custo.

Existem diversos tipos de coletores solares para uso doméstico, sendo os mais comuns o de placas planas e o de tubos evacuados (IBRAHIM et al., 2013). Segundo Shi et al. (2013), a maioria dos edifícios residenciais com aquecimento solar na China utiliza coletores de tubos evacuados, enquanto os coletores de placas planas são mais comuns na Europa, nos Estados Unidos (MAGUIRE et al., 2013) e no Brasil (LIMA et al., 2006).

De acordo com Maguire et al. (2013), para a temperatura da água para uso doméstico, coletores planos costumam ser mais eficientes. Os de tubos evacuados são recomendados quando se necessita de temperaturas mais altas, como para usos industriais. Segundo Shi et al. (2013), os coletores de placas planas têm instalação mais fácil, maior vida útil e maior compatibilidade com a aparência do edifício.

O desempenho do sistema solar é influenciado por diversos fatores. O local onde a edificação está inserida determina a inclinação e a orientação ideal dos coletores. As condições climáticas do local, tais como a temperatura do ar e a incidência de radiação solar, devem ser consideradas no dimensionamento do sistema. Parâmetros como área e eficiência dos coletores, dimensões do reservatório, diâmetro e comprimento de tubulações, entre outros, devem ser levados em conta no projeto. As características da edificação também devem ser analisadas, como orientação e inclinação da cobertura, espaço disponível e sombreamento do entorno, para que o sistema seja instalado em local adequado. Por fim, o monitoramento e a manutenção periódicos do sistema são importantes para garantir a eficiência desejada (WANG et al., 2015).

De acordo com Yan et al. (2015), em muitos casos a maior parte da demanda de água quente ocorre à noite, quando o sistema não está recebendo a energia solar. Com isso, parte da energia adquirida é perdida. Assim, a análise do desempenho anual do sistema pode estar superestimada, e a real economia gerada pela energia solar pode não ser a esperada. O estudo mostra um caso em que a fração solar calculada foi de 73,4%, mas apenas 59,3% do ganho de calor solar era efetivamente utilizado, e o restante era desperdiçado. Segundo os autores, esta incompatibilidade é negligenciada em muitos trabalhos, mas deve ser considerada para que se analise a verdadeira eficiência do sistema.

Em edifícios verticais, muitas vezes a área de cobertura não é suficiente para atender a demanda de água quente, tendo em vista a relação entre a área de projeção do edifício e a sua ocupação. O trabalho

de Colmenar-Santos et al. (2014) propõe a utilização de coletores na área de entrada principal do edifício, no térreo. Outra solução possível para aumentar a fração solar é a instalação de coletores nas fachadas, como proposto nos estudos de Chow et al. (2006) e Shi et al. (2013). No entanto, como mostrado por Li e Liao (2014), coletores instalados em áreas mais baixas do edifício estão sujeitos ao sombreamento do entorno e, portanto, a um pior desempenho do sistema. Os autores afirmam que em áreas urbanas muito densas, nas quais a radiação solar é obstruída pelas construções vizinhas, outros sistemas, como aquecedores a gás, podem apresentar um menor consumo de energia primária do que o sistema solar.

2.2.2.4 Energia primária

Segundo Borgstein (2014), para realizar análises de sustentabilidade em edificações, é necessário definir um fator de ponderação que identifica o impacto das diferentes fontes de energia utilizadas. Esta análise é essencial quando se comparam diferentes fontes de energia, pois a diminuição do consumo de energia final durante a operação não necessariamente leva a uma menor utilização dos recursos naturais (GUSTAVSSON; JOELSSON, 2010).

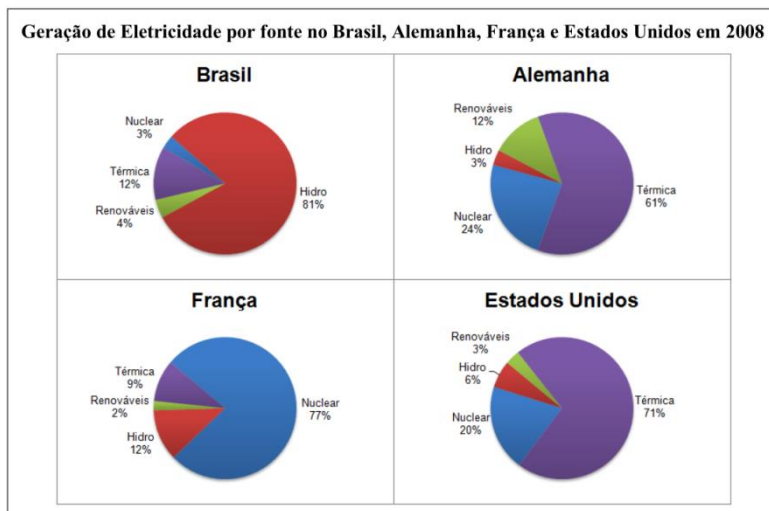
Borgstein (2014) identifica três metodologias usadas internacionalmente para comparação de diferentes fontes de energia em edificações: custo da energia, emissões de CO₂ e fator de energia primária. Segundo o autor, para países onde a energia elétrica é gerada principalmente por combustíveis fósseis, os resultados das três análises são semelhantes. No entanto, para países como o Brasil, em que a maior parte da geração de eletricidade é pelas hidrelétricas, os resultados obtidos pelos três métodos têm grandes diferenças. O método do fator de energia primária traz um resultado médio, e é o mais indicado para uma análise considerando a realidade brasileira.

Para análise do consumo de energia primária, são utilizados fatores de conversão de energia final em primária. Estes valores são geralmente maiores do que 1, e representam a quantidade de energia primária necessária por unidade de consumo de energia final. Existem diversas metodologias para o cálculo dos fatores de conversão, desenvolvidas por cada país, que levam em conta as perdas na extração, geração, armazenamento, transporte e distribuição da energia (SANTOS et al., 2013).

Devido às diferenças na matriz energética, como mostrado na Figura 7, cada país terá valores de fatores de conversão diferentes.

Enquanto países como Alemanha, França e Estados Unidos têm a geração de eletricidade basicamente por usinas térmicas e nucleares, no Brasil as hidrelétricas correspondem à maior parte da matriz energética.

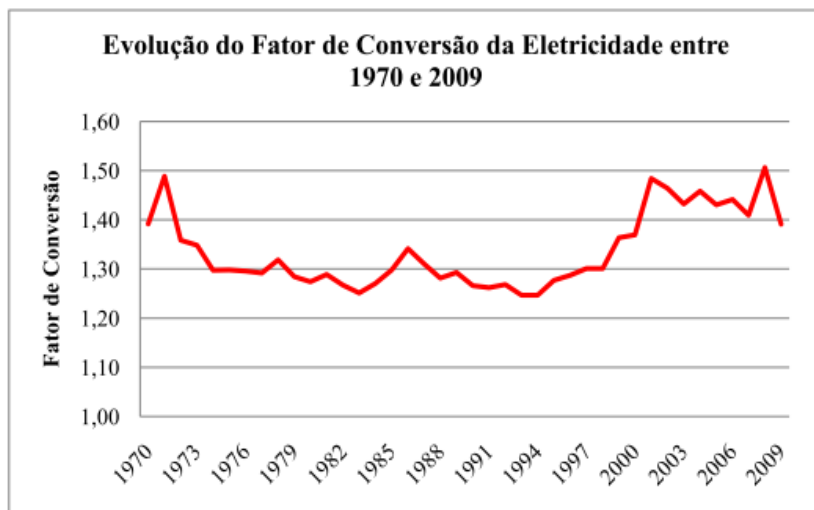
Figura 7 – Geração de eletricidade por fonte de energia em diferentes países



Fonte: Santos (2011).

A participação das usinas térmicas no Brasil ocorre principalmente quando as hidrelétricas não conseguem atender integralmente a demanda, sobretudo em épocas de seca. Isso faz com que o fator de conversão da eletricidade sofra alterações conforme a variação da participação das usinas térmicas na matriz energética do país. O fator de conversão dos gases combustíveis, por outro lado, permanece praticamente constante. A Figura 8 mostra os valores de fator de conversão para eletricidade encontrados por Santos (2011) para os anos de 1970 a 2009, que variam entre 1,25 e 1,51.

Figura 8 – Variação do fator de conversão da eletricidade em energia primária no Brasil entre 1970 e 2009

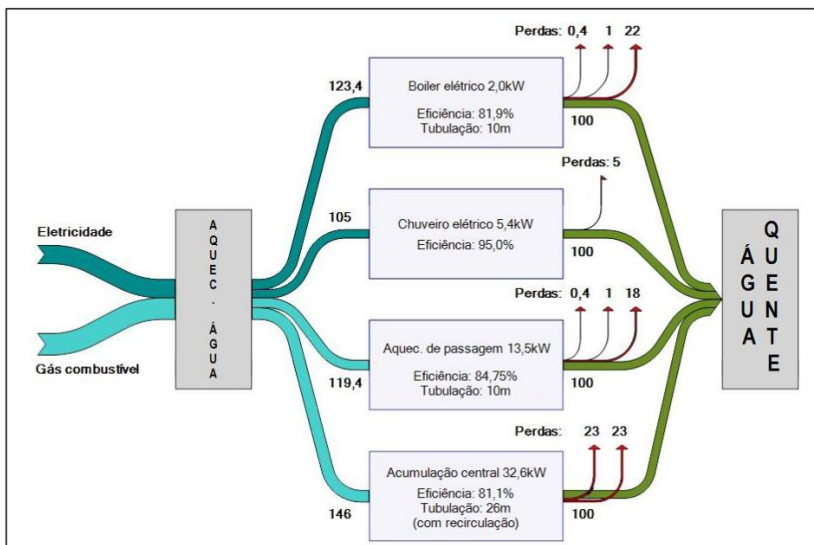


Fonte: Santos (2011).

Além das variações de ano a ano, pode haver uma tendência de mudança da matriz energética ao longo do tempo. Santos (2011) calculou fatores de conversão de eletricidade para 2030, com base em diferentes cenários, a partir das projeções do Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007). Como há uma previsão de redução e na participação das hidrelétricas na matriz, os valores calculados variaram entre 1,49 e 1,75.

No trabalho de Santos (2011), foi estimado o consumo de energia para aquecimento de água por boilers elétricos, chuveiros elétricos, aquecedor a gás instantâneo e sistema central de acumulação a gás, considerando as perdas referentes à eficiência dos equipamentos e à distribuição da água quente. Os resultados do consumo de energia final por cada sistema encontram-se na Figura 9, em que foi considerado que cada sistema fornece 100 unidades de energia útil.

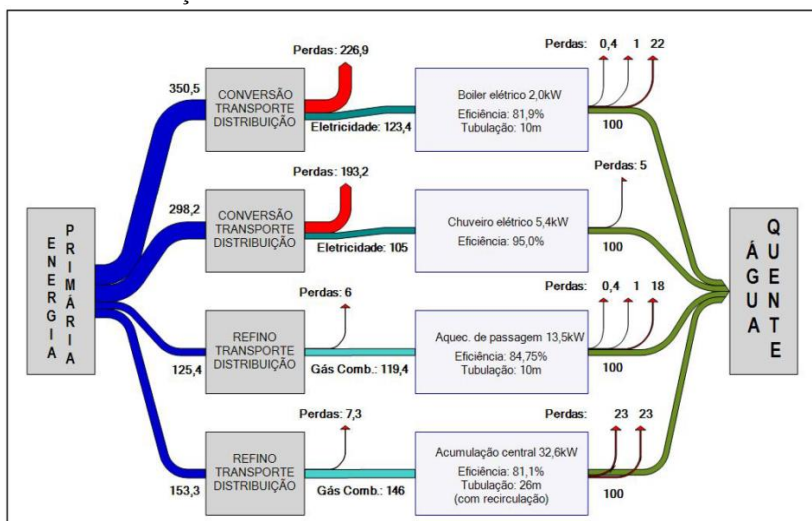
Figura 9 – Comparação do consumo de energia final para aquecimento de água por diferentes sistemas



Fonte: Santos (2011).

Considerando as perdas na utilização, percebe-se que o chuveiro elétrico apresenta maior eficiência quanto à energia final. No entanto, quando se considera o consumo de energia primária, os sistemas a gás podem usar menos energia. De acordo com Santos (2011), a média dos fatores de conversão de eletricidade em energia primária para Alemanha, Estados Unidos e França é de 2,84, enquanto para os gases combustíveis o valor médio desses países é de 1,05. Na Figura 10 observa-se que, considerando as fontes de energia para eletricidade destes países, os sistemas elétricos apresentam um consumo de energia primária consideravelmente maior do que os sistemas a gás.

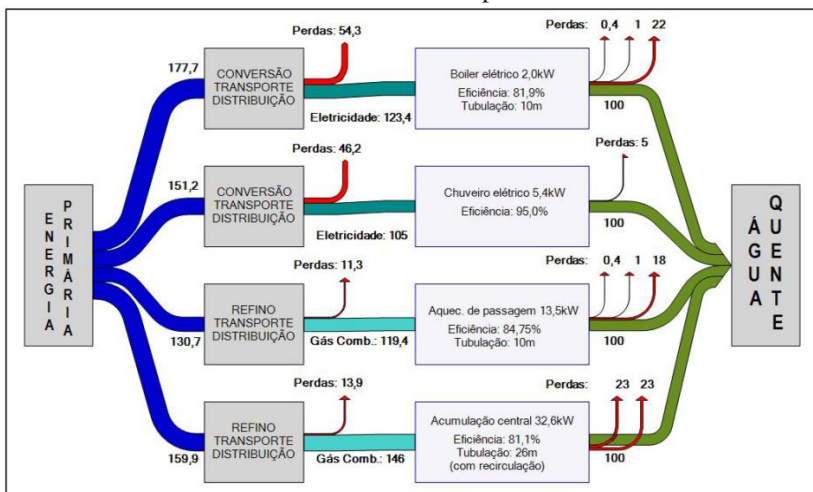
Figura 10 – Consumo de energia primária para aquecimento de água, considerando os valores médios de fator de conversão para Estados Unidos, Alemanha e França



Fonte: Santos (2011).

Para o Brasil, o fator de conversão de eletricidade em energia primária calculado por Santos (2011) é de 1,44, e para o gás combustível é de 1,095. Como mostrado na Figura 11, o consumo de energia primária pelos sistemas elétricos é maior do que pelos sistemas a gás, porém não há uma diferença tão significativa entre os dois sistemas quanto nos outros países analisados.

Figura 11 – Consumo de energia primária para aquecimento de água, considerando os valores de fator de conversão para o Brasil



Fonte: Santos (2011).

No estudo de Gustavsson et al. (2010), foi calculado o consumo de energia de um edifício de apartamentos na Suécia. O consumo de energia final calculado para o sistema em operação foi o mesmo para os diferentes tipos de aquecimento. Contudo, o consumo de energia primária variou de acordo com a fonte de energia utilizada. A pesquisa também mostrou que o uso de energia primária para aquecimento de água pode ser minimizado com a utilização de painéis solares. No entanto, caso o sistema convencional utilizado seja eficiente quanto ao consumo de energia primária, o impacto da utilização da energia solar não é tão significativo quando comparado a um sistema que utiliza uma fonte de energia menos eficiente.

No trabalho de Li e Liao (2014), foi realizada uma análise de energia primária para verificar se a substituição de um sistema convencional de aquecimento de água por um sistema solar resultaria em economia de energia na sua vida útil. Para isso, foi calculado o potencial de economia de energia primária, considerando o fator de conversão para região analisada (Changsha, China). Este cálculo leva em conta a energia que seria consumida pelo sistema convencional, o consumo de energia pelas bombas e pelo *backup* do sistema solar, a energia embutida dos coletores, e o fator de conversão. Se o valor do potencial de economia de energia primária for positivo, significa que a substituição pelo sistema solar resulta em economia de energia primária.

Os autores analisaram três cenários: substituição de sistema elétrico por solar com apoio elétrico, substituição de aquecedor a gás natural por sistema solar com *backup* a gás, e substituição de sistema a gás por solar com apoio elétrico. Nos dois primeiros cenários, os valores de potencial de economia de energia primária foram positivos. Ou seja, a utilização de aquecimento solar resulta em economia de energia primária quando a fonte de energia do sistema de apoio é a mesma do sistema convencional que está sendo substituído. No entanto, quando são comparados o sistema a gás e o solar com *backup* elétrico, pode não haver economia de energia primária. Nos casos em que havia sombreamento dos coletores pelos edifícios vizinhos, o potencial de economia de energia primária foi negativo – ou seja, o sistema solar consome mais energia primária do que o convencional.

2.2.3 Distribuição de água quente

Para sistemas centrais de aquecimento, tanto privados quanto coletivos, é necessária uma rede de distribuição de água quente. Nos sistemas individuais, geralmente não é necessário um sistema de distribuição, já que a água é aquecida no próprio ponto de consumo. Nesses casos, é preciso apenas a rede de alimentação de água fria (CHAGURI JUNIOR, 2009).

Segundo Gu (2007) e Bøhm (2013), muitos estudos e normas focam na eficiência da geração de água quente, mas não consideram as perdas térmicas nas tubulações. Estas perdas devem ser levadas em conta para evitar o desperdício de água e energia, e aumentar a eficiência do sistema como um todo. Lutz (2005) estima que 20% da água quente usada nas residências é desperdiçada. Após o uso do chuveiro, a água quente fica estagnada nas tubulações, ocorrendo perda de calor e, conseqüentemente, redução da temperatura. Quando o sistema é acionado novamente, a água da tubulação se encontra em temperatura menor que a esperada e é descartada, até a chegada da água na temperatura desejada (WIEHAGEN; SIKORA, 2003). Além do desperdício de energia para reaquecer uma quantidade de água que já havia sido aquecida anteriormente, há o desperdício de água tratada.

De acordo com Gu (2007), existe um grande potencial de economia de energia com a otimização dos sistemas de distribuição de água quente. Esta seção traz uma revisão de estudos sobre a influência do sistema distribuição de água quente na eficiência energética do sistema de aquecimento de água. São apresentados trabalhos que analisam as perdas térmicas nas tubulações de água quente, e o consumo

de energia para circulação da água.

2.2.3.1 Perdas térmicas nas tubulações

O sistema de distribuição deve ser composto de tubulações específicas para condução de água quente, que podem ser de diferentes materiais. Tubulações metálicas, como de cobre, resistem a temperaturas mais altas, por isso são usados geralmente na ligação entre os reservatórios e aquecedores ou coletores solares. Tubulações não metálicas, como CPVC, PPR e PEX, não resistem a temperaturas tão altas, mas apresentam menor condutividade térmica, sendo usadas geralmente nas prumadas e ramais. A Tabela 2 apresenta os valores de condutividade térmica de alguns materiais usados em tubulações de água quente e isolante térmico de tubulações.

Tabela 2 – Condutividade térmica de materiais usados em tubos de água quente e isolantes térmicos

| Material | Condutividade térmica (W/mK) |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Cobre | 380 |
| CPVC | 0,16 |
| PPR | 0,24 |
| Polietileno expandido | 0,035 |

Fontes: NBR 15220-3 (ABNT, 2005a); Chaguri Junior (2009); AMANCO (2014); POLIPEX (2014).

Na pesquisa do NAHB (2010), foi analisado o desempenho do sistema de distribuição de água quente. Foram realizadas simulações considerando um trecho de tubulação do reservatório de água quente até um ponto de consumo, analisando isoladamente a influência de parâmetros como material dos tubos, utilização de isolamento térmico, temperatura da água, volume de água e temperatura do ambiente. Em relação ao isolamento térmico, foi simulada a utilização de um isolante de 2,5 centímetros de espessura, para tubulações de cobre e de CPVC. A redução nas perdas térmicas com o uso do isolante variou, dependendo do cenário considerado, entre 24% e 35% para tubos de cobre, e entre 20% e 25% para tubos de CPVC. As tubulações de cobre com isolamento apresentaram valores de perdas térmicas bastante próximos das tubulações de plástico sem isolamento. O melhor desempenho foi obtido com as tubulações de plástico com isolamento térmico.

Todavia, neste mesmo trabalho do NAHB, quando foi feita a simulação de um sistema completo de aquecimento de água em uma residência unifamiliar, a redução no consumo de energia não foi muito significativa. Considerando o custo para instalação do isolamento térmico, o período de retorno do investimento calculado foi de 60 a 100 anos, dependendo do material utilizado.

No estudo de Wendt et al. (2004), foi simulado o desempenho energético de sistemas de distribuição de água quente em casas novas e existentes na Califórnia, Estados Unidos. Foram analisadas tubulações metálicas (cobre) e não metálicas (CPVC e PEX), com e sem isolamento térmico, considerando diferentes padrões de uso (água inicialmente fria, ou usos agrupados em que a água é pré-aquecida devido a uso anterior). Os autores concluíram que as perdas de calor nas tubulações de distribuição afetam o consumo de água e energia na habitação, além do tempo de espera até a chegada da água quente nos pontos de consumo. Comparando-se a utilização ou não de isolante térmico, o consumo de água e de energia em muitos casos teve pouca diferença. Entretanto, em alguns casos o consumo de água em tubulações sem isolamento foi até quatro vezes maior do que com isolamento, e consumo de energia até três vezes maior. Os resultados variaram significativamente conforme o padrão de uso considerado: para o caso de a água estar inicialmente fria, o aumento em relação ao padrão de uso agrupado variou entre 25% e 600% para o consumo de água, e de 60% a 600% para o consumo de energia, dependendo do caso analisado.

Chaguri Junior (2009) apresentou cálculos de perdas térmicas em tubulações de aço galvanizado, cobre, CPVC, PPR e PEX, com isolamento térmico de polietileno expandido de 0,05 m e 0,10 m de espessura. Para uma tubulação com diâmetro nominal de 1/2" sem isolamento térmico, a perda térmica por metro linear calculada foi de 17.896,16 W/m para tubo de aço galvanizado, 679.290,17 W/m para tubo de cobre, 74,15 W/m para CPVC, 58,56 W/m para PPR e 224,30 W/m para PEX. Com a utilização do isolamento de 0,05 m de espessura, as perdas térmicas variaram entre 0,59 W/m e 0,86 W/m, para todos os materiais. Com isolamento de 0,10 m, as perdas variaram entre 0,30 W/m e 0,43 W/m. As tubulações plásticas apresentaram melhor desempenho do que as metálicas, mas sem o isolamento, as perdas térmicas são significativas mesmo para estes materiais. Com a utilização do isolante, há uma redução drástica nas perdas térmicas, e os valores calculados para cada espessura de isolamento foram bastante próximos para os diferentes materiais de tubulação. Essa diferença tão significativa nas perdas térmicas com e sem isolamento pode ser

explicada pelo valor de espessura adotado pelo autor, maior do que os isolantes comumente utilizados no mercado.

No estudo de Bøhm (2013), foram realizadas medições em apartamentos construídos na Dinamarca. Foi verificado que as perdas térmicas na circulação de água quente representam de 23 a 73% do consumo de energia para aquecimento de água. O autor afirma que para cada edifício deve ser analisada qual a forma mais eficaz e econômica de reduzir as perdas térmicas no sistema de distribuição (isolamento térmico, recirculação da água, localização dos aquecedores e distância até os pontos de consumo).

Gu (2007) afirma que diversos fatores influenciam nas perdas de calor no sistema de distribuição. Além da condutividade térmica do material das tubulações, o ambiente em que elas estão inseridas também deve ser considerado. Segundo o estudo de Chaguri Junior (2009), com a variação da temperatura do ar ao longo do ano para a cidade de São Paulo, as perdas térmicas variam mais de 35%, sendo que temperaturas ambientes mais frias levam a maiores perdas de calor. O autor ressalta que para tubulações embutidas, a temperatura ao redor da tubulação não varia necessariamente na mesma proporção da temperatura do ambiente externo.

Kaynakli (2012) apresenta uma revisão de estudos sobre isolantes térmicos em edificações. Segundo o autor, existem poucos trabalhos sobre isolamento térmico de tubulações, comparado aos estudos sobre isolamento da envoltória. A espessura ideal do isolante depende de vários fatores, como diâmetro e espessura da tubulação, condutividade térmica do material isolante, e diferença entre a temperatura da água e temperatura ambiente.

É importante ressaltar que a energia perdida através das trocas térmicas nas tubulações pode ou não resultar em um acréscimo significativo no consumo de energia para geração de água quente. Como mostrado no estudo do NAHB (2010), a redução nas perdas de calor com o isolamento térmico não refletirá necessariamente em uma redução no consumo de energia na edificação na mesma magnitude. Isso porque a eficiência do sistema de distribuição é influenciada pela temperatura da água quente e do ambiente, além do fato de que mesmo com o isolamento, existirá alguma perda de calor. Ademais, o tempo entre os usos do chuveiro reflete nas perdas térmicas do sistema, pois na hipótese de o chuveiro ser utilizado duas vezes seguidas, a água quente remanescente nas tubulações é utilizada novamente.

O comprimento de tubulação influencia nas perdas de energia, pois quanto maior o comprimento dos tubos, maior o volume de água

que irá resfriar nas tubulações quando o sistema não estiver em uso. Além disso, é necessário mais tempo até que a água aquecida chegue ao ponto de utilização. De acordo com o NAHB (2010), a utilização de uma tubulação de plástico resulta em média na mesma economia do que se fosse reduzido o comprimento de tubulações metálicas pela metade. Ademais, reduzir o comprimento das tubulações é vantajoso porque, além de diminuir os custos operacionais com a economia de energia, os custos de instalação também são menores. Wendt et al. (2004) e Bøhm (2013) também recomendam que as tubulações de água quente sejam as mais curtas possível.

Na etiquetagem de eficiência energética de edificações residenciais, o RTQ-R (INMETRO, 2012) exige isolamento térmico de tubulações, tanto para as metálicas, quanto para as não metálicas. Esse pré-requisito é exigido para qualquer comprimento de tubulação, embutida ou aparente. Caso não possua isolamento, o sistema de aquecimento de água irá alcançar no máximo nível C, em uma escala de A a E. No entanto, muitos fabricantes de tubulações não metálicas, como CPVC e PPR, informam em seus catálogos que não há necessidade de utilizar isolamento térmico, devido à menor condutividade térmica desses materiais em relação aos tubos metálicos. Como mostrado na Tabela 2, a condutividade térmica destes materiais é em torno de 0,24 W/mK, enquanto os isolantes térmicos possuem condutividade térmica em torno de 0,035 W/mK. Para tubulações não metálicas, o RTQ-R exige um isolante de pelo menos 1,0 centímetro de espessura, para condutividade térmica entre 0,032 e 0,040 W/mK, e para condutividades térmicas fora dessa faixa, apresenta uma equação para o cálculo da espessura mínima do isolamento. Para a condutividade térmica do CPVC ou PPR, a espessura dos tubos não atende a essa espessura mínima, sendo necessária a utilização do isolante térmico.

Entretanto, pesquisas mostraram que outros fatores influenciam nas perdas térmicas, como comprimento de tubulação, temperatura ambiente e da água, e que essas perdas não irão necessariamente aumentar o consumo de energia na mesma proporção. É necessário analisar o real efeito das perdas térmicas no consumo energético, considerando diferentes condições e comprimentos de tubulação, para que os requisitos mínimos dos regulamentos e normas sejam compatíveis com a realidade de cada caso.

2.2.3.2 *Circulação da água quente*

Quando o chuveiro é acionado, a água da tubulação, que esfriou

após o uso anterior, é descartada até a chegada da água na temperatura desejada. Para reduzir este tempo de espera e o desperdício de água, pode haver um sistema de recirculação (retorno) da água, com o objetivo de mantê-la na temperatura desejada. Esta recirculação pode ser natural ou forçada. A circulação natural se dá pelo fenômeno denominado termossifão, em que a diferença de temperatura da água, e consequentemente, de densidades, faz com que a água circule pela rede (ILHA et al., 1994). A circulação forçada é feita por uma bomba, que tem o objetivo apenas de recircular a água, sem pressurizar o sistema, mantendo a temperatura e reduzindo o tempo de chegada da água quente.

Em sistemas centrais privativos, muitas vezes não existe um sistema de recirculação. O trabalho de Chaguri Junior (2009) apresenta uma comparação dos custos de um sistema central privado sem recirculação de água quente, e com circulação forçada. A análise dos custos de operação considera o volume de água desperdiçado (volume na tubulação entre o aquecedor e o ponto de consumo), quantidade de gás utilizada para aquecer a água, perda de calor na recirculação, energia gasta pela bomba, e as tarifas de água, gás e energia. Os custos de instalação também devem ser considerados, sendo que o sistema com recirculação possui mais acessórios e maiores comprimentos de tubulação, o que gera custos iniciais mais altos. No entanto, mesmo que o custo global de um sistema com recirculação seja mais alto, pode-se optar por ele com o objetivo de proporcionar ao usuário maior conforto e menos desperdício de água.

Os sistemas centrais coletivos normalmente possuem circulação forçada pois torna-se necessário o bombeamento para recirculação da água, em razão da maior distância entre os aquecedores e os pontos de consumo.

Wendt et al. (2004) simularam sistemas de distribuição de água quente, considerando o sistema de circulação (bombeamento) constante ou sob demanda. Verificaram-se em cada caso o consumo de energia e de água, bem como uma análise de custo global. Dentre os casos analisados, os resultados mostraram que o sistema com recirculação constante economiza água e diminui o tempo de espera para chegada da água quente, mas é o que mais consome energia e possui alto custo de instalação. O estudo conclui também que a localização dos aquecedores na edificação influencia no custo e no desempenho do sistema, sendo que o ideal é que esteja em uma posição central na habitação, próximo dos pontos de consumo.

Diversos trabalhos sobre desempenho de sistemas solares

consideram a energia consumida pelas bombas para circulação da água na análise do consumo energético total do sistema de aquecimento. Pode-se citar os estudos de Chow et al. (2006), Hernandez e Kenny (2012), Li e Liao (2014), Yan et al. (2015), entre outros. O sistema solar reduz o consumo de energia para aquecer a água, mas em sistemas centrais existe o gasto de energia para bombeamento, o que não ocorre em um sistema individual, como o chuveiro elétrico por exemplo. Por isso, é importante considerar o consumo de todos os componentes do sistema, para avaliar qual sistema de fato é mais eficiente.

Na etiquetagem de edifícios residenciais, o cálculo do nível de eficiência do sistema de aquecimento de água considera a geração de água quente e o isolamento térmico de tubulações e de reservatórios. O consumo de energia para circulação da água quente não é considerado pelo RTQ-R (INMETRO, 2012).

Os sistemas de distribuição ativos podem, ainda, ser classificados como diretos (circuito aberto) ou indiretos (circuito fechado). No sistema direto, a mesma água é aquecida nos aquecedores (ou coletores no caso de sistema solar), fica armazenada nos reservatórios, e vai para os pontos de consumo. No sistema indireto, há utilização de um trocador de calor, muitas vezes na entrada de cada apartamento.

2.3 Análise do consumo de energia

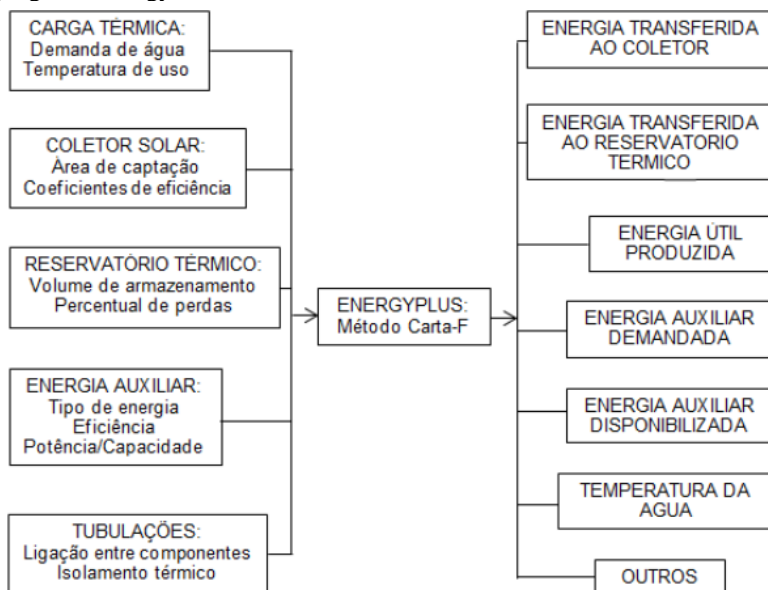
Esta seção apresenta uma revisão de trabalhos que analisaram o consumo de energia de sistemas de aquecimento de água em edifícios.

2.3.1 Simulação computacional

Programas de simulação computacional vêm sendo amplamente utilizados para análises energéticas em edificações. Através destas ferramentas, é possível analisar, ainda na fase de projeto, a influência no consumo energético de fatores como materiais construtivos, geometria da edificação e equipamentos (MENDES et al., 2005).

A simulação também pode ser utilizada para análise de sistemas de aquecimento de água. Altoé (2012) compara os principais programas computacionais para avaliações destes sistemas. De acordo com a autora, o EnergyPlus tem a vantagem de ser um programa de uso livre e gratuito, que fornece resultados detalhados e precisos. A análise de sistemas de aquecimento solar é pelo método da Carta-F. A Figura 12 apresenta os dados de entrada e saída da simulação com o EnergyPlus.

Figura 12 – Fluxograma de entradas e saídas de análise de sistemas solares com o programa EnergyPlus



Fonte: (ALTOÉ, 2012).

O programa EnergyPlus foi usado no trabalho de Altoé et al. (2012) para comparar o consumo energético de dois tipos de aquecimento de água em uma residência unifamiliar: chuveiro elétrico e sistema solar com apoio elétrico (resistência elétrica dentro do reservatório), com circulação natural (termossifão). A análise considerou as condições climáticas da cidade de Viçosa, MG, no período de um ano. O estudo mostra as perdas térmicas e a eficiência do sistema solar, considerando diferentes vazões de banho. O estudo mostrou que a substituição do chuveiro elétrico por sistema solar levou a uma redução média de 70% no consumo energético para aquecimento de água.

O programa EnergyPlus também foi usado no trabalho de Vieira et al. (2014), em que foi comparado o desempenho de sistemas solares, elétricos e bombas de calor em residências na Austrália. O desempenho foi analisado quanto ao consumo de energia, e quanto ao atendimento à temperatura de consumo e de armazenamento desejada. Consideraram-se diferentes padrões de uso, volumes de reservatório e tarifas energéticas. Os autores concluíram que a combinação de sistema solar e

elétrico apresenta o melhor desempenho (atinge temperaturas mais altas no reservatório), com menor consumo de eletricidade nos horários de pico. A utilização apenas de eletricidade apresenta o pior desempenho, mas ainda é bastante utilizada nas residências, por apresentar menor custo de aquisição e manutenção.

Outros programas de simulação computacional também podem ser usados para simular sistemas de aquecimento de água. Assim como o EnergyPlus, o RETScreen também é um programa de acesso livre, e avalia sistemas solares pelo método da Carta-F. Comparado com o Energyplus, é uma ferramenta de utilização mais simples e intuitiva, mas oferece uma análise energética mais simplificada (ALTOÉ, 2012). O RETScreen foi utilizado por Colmenar-Santos et al. (2014) para dimensionar um sistema de aquecimento solar em um hotel em São Paulo. Os resultados da simulação mostraram que é possível uma economia de 65% no consumo de eletricidade com a utilização do sistema solar, em comparação com um sistema que utiliza apenas boilers elétricos.

Outro programa bastante difundido é o TRNSYS. No estudo de Maguire et al. (2013), foi analisada a eficiência de diversos tipos de aquecimento de água utilizados em residências: aquecedores a gás instantâneo e de acumulação, aquecedor elétrico de acumulação, bomba de calor, e aquecedor solar com apoio elétrico e apoio a gás. A análise foi realizada através de simulações computacionais com o programa TRNSYS, considerando um modelo de residência unifamiliar em seis cidades dos Estados Unidos de climas diferentes. A simulação considerou o modelo do edifício, verificando também a influência das trocas térmicas do reservatório e bombas de calor com o ambiente, condicionado ou não. Dentre os sistemas que utilizam gás, os sistemas com combinação solar e gás apresentaram o menor consumo de energia na maioria dos casos analisados. Em três situações, em que a edificação é condicionada e está localizada em cidades quentes, o aquecedor a gás instantâneo foi a opção mais eficiente. Na comparação dos sistemas que utilizam eletricidade, o aquecimento solar com apoio elétrico se mostrou o mais eficiente na maioria dos casos, seguido pela bomba de calor, que também apresentou bons resultados.

O programa de simulação TRNSYS foi utilizado no estudo de Chow et al. (2006), que analisou um sistema solar central em um edifício vertical em Hong Kong. Como a área de cobertura é pequena para atender todos os apartamentos, foi analisada a instalação de coletores nas fachadas Sul e Oeste do edifício. Além de propiciar o aumento da fração solar, em relação à utilização de coletores apenas na

cobertura, a presença dos coletores nas fachadas diminui as trocas de calor da envoltória da edificação, contribuindo para economia de energia.

Kalogirou (2009) também utilizou o programa TRNSYS para avaliar sistemas de aquecimento solar, em uma análise econômica e ambiental da utilização de aquecimento solar passivo (termossifão) em uma residência no Chipre. Os resultados mostram que o aquecimento solar pode atender até 79% da demanda de água quente da habitação. Outrossim, contribui para a diminuição da emissão de gases poluentes, comparando-se com sistemas convencionais elétricos ou a diesel, além de ser atrativo economicamente.

Hobbi e Siddiqui (2009) simularam um sistema solar indireto, com circulação ativa, em uma residência unifamiliar em Montreal, Canadá. No caso analisado, foi considerado que uma solução de água e glicol era aquecida nos coletores solares, e este fluido aquecia a água através de um trocador de calor. Este fluido é usado na parte externa do sistema para evitar o congelamento, devido à baixa temperatura do ar durante o inverno. Foram realizadas simulações com o programa TRNSYS para analisar os parâmetros do sistema (como área dos coletores, volume e altura do reservatório, comprimento das tubulações, eficiência do trocador de calor, entre outros) e do coletor solar. Após a determinação dos valores ótimos de cada parâmetro, foi realizada a simulação considerando o sistema otimizado. Os resultados mostraram que este sistema é capaz de atender de 83 a 97% da demanda de água quente nos meses de verão, e de 30 a 68% da demanda no inverno.

A determinação, através de simulações com o TRNSYS, de parâmetros ideais de projeto para um sistema solar também foi estudada por Lima et al. (2006). A análise foi feita para uma residência unifamiliar em São Paulo, considerando um sistema direto e passivo (termossifão) com coletores solares de placas planas, que é o tipo mais difundido nas habitações do Brasil. O estudo mostrou que o sistema tem um alto custo inicial quando é dimensionado para que tenha a maior produção de energia térmica durante o inverno. Como no Brasil o preço da eletricidade é baixo, os autores defendem que o sistema seja dimensionado com base no desempenho anual. Embora leve a um maior consumo de eletricidade, o custo de instalação do sistema nesses casos é menor. Visto que o alto custo inicial é uma das principais barreiras para disseminação do aquecimento solar, essa prática é importante para incentivar a utilização deste sistema.

O trabalho de Biaou e Bernier (2008) realizou simulações em uma residência unifamiliar em Montreal, Canadá e em Los Angeles,

Estados Unidos, com o programa TRNSYS. Foram comparadas alternativas de sistema de aquecimento de água para uma residência energia zero (reservatório com resistência elétrica, solar com backup elétrico e bombas de calor). Para as duas cidades, o aquecimento solar apresentou o menor consumo energético. Para Montreal, este sistema resultou em um consumo de aproximadamente um terço do consumo do aquecimento elétrico. Para Los Angeles, que possui um clima mais quente do que a cidade canadense e, consequentemente, maior temperatura da água fria, o aquecimento solar representou uma economia de 83,5% em relação ao elétrico.

Cassard et al. (2011) analisaram o desempenho técnico e econômico de sistemas solares e a economia de energia em comparação a aquecedores elétricos em residências, para cidades americanas de diferentes condições climáticas. O sistema solar analisado é um sistema ativo, indireto, e possui coletores de placas planas. Para calcular o consumo de energia, foi usado o programa SAM (Solar Advisor Model), desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL) dos Estados Unidos. Os resultados mostraram que o sistema solar pode levar a uma economia de energia de 50% a 85%, dependendo das características climáticas da região em que está inserido. Temperaturas do ar mais baixas levam a uma menor temperatura de água fria, o que demanda mais energia para aquecê-la. Regiões com muitos dias de chuva ou com nebulosidade terão pior desempenho do que locais com mais dias de sol. Segundo os autores, regiões frias, mas com alta incidência solar, apresentaram a maior economia de energia.

2.3.2 Medições em edifícios reais

Hernandez e Kenny (2012) afirmam que, embora os sistemas solares apresentem muitas vantagens, como mostrado em diversos estudos, muitas pesquisas calculam o potencial de economia de energia, mas não são realizadas medições em sistemas em funcionamento para verificar a sua eficiência na prática. No estudo de Hernandez e Kenny (2012), sistemas solares instalados em seis cidades da Irlanda foram monitorados durante um ano, e as medições comparadas com o desempenho calculado. A Irlanda possui níveis de radiação solar relativamente baixos. Dos seis casos analisados, dois apresentaram resultados melhores do que o esperado, principalmente devido a boas condições climáticas, e pelo sistema estar bem instalado e conservado. Entretanto, os outros quatro casos tiveram desempenho pior do que o calculado, principalmente por problemas de dimensionamento,

instalação e controle do sistema.

No trabalho de Giglio et al. (2014), foi analisada a economia de energia em habitações populares na cidade de Londrina, PR, com a implementação de um sistema solar com chuveiro elétrico. Comparando o consumo nestas unidades com o consumo da moradia anterior, foi constatada uma redução no consumo da residência em 47% dos casos; 37% não apresentaram economia, e em 16% a análise não foi possível devido à ausência de dados anteriores. Essa diferença no desempenho energético se deu principalmente a fatores sociais, sendo que a dificuldade dos moradores em operar o sistema pode levar a uma economia menor do que a esperada. Nos resultados das medições em cinco residências apresentadas por Giglio (2015), comparadas com um caso base que considera o uso apenas de chuveiro elétrico, a economia anual de energia elétrica para aquecimento de água variou de 71,8% a 86,6%, sendo influenciada pelos hábitos dos moradores.

Medições em habitações populares também foram realizadas no trabalho de Napolini et al. (2010), em um condomínio na cidade de Florianópolis, SC. Foi analisada a redução no consumo de energia com a substituição dos chuveiros elétricos por sistemas de aquecimento solar de baixo custo. Durante o período de um ano, foram feitas medições do consumo de eletricidade das unidades habitacionais, sendo que algumas unidades possuíam um sistema de aquecimento solar que pré-aquece a água de banho, complementado com um chuveiro elétrico, e outras unidades, usadas como comparação no estudo, possuem apenas o chuveiro elétrico. Os resultados mostraram uma economia de energia média para aquecimento de água de aproximadamente 38% ao longo do ano.

O estudo de Boait et al. (2012) comparou seis tipos de sistemas de aquecimento de água em edificações unifamiliares no Reino Unido, através de medições em sistemas instalados. Os sistemas analisados incluem sistemas elétricos, a gás, bomba de calor e solar. Os sistemas instantâneos se mostraram mais eficientes do que os sistemas com reservatórios, devido às perdas de calor pelo armazenamento. Os autores estimam, ainda, que melhorando o isolamento térmico do reservatório e do circuito primário de tubulações, é possível aumentar a eficiência do sistema de 3 a 12%, dependendo do tipo de aquecimento considerado.

Bøhm (2013) realizou medições em 24 edifícios de apartamentos na Dinamarca, para verificar as perdas térmicas nos sistemas de distribuição de água quente. O consumo de energia em diferentes sistemas foi analisado durante um ano. Foi verificado que as perdas de calor do reservatório e das tubulações correspondem a aproximadamente

65% do consumo de energia do sistema de aquecimento de água.

No estudo de Cholewa et al. (2011), foram realizadas medições durante um ano em sistemas de aquecimento na cidade de Lublin, Polônia. A cidade possui uma temperatura média anual de 7,6°C e necessita de aquecimento artificial dos ambientes 222 dias por ano. Foram analisados sistemas que aquecem a água e os ambientes, em edifícios residenciais multifamiliares. Os resultados mostraram que sistemas descentralizados apresentaram maior eficiência e menor consumo de energia, pois as perdas térmicas são menores.

2.4 Análise de Ciclo de Vida

Para uma análise energética completa de um sistema, o ideal é que seja considerado todo o seu ciclo de vida. Essa análise considera a energia necessária para extração da matéria-prima, transporte, fabricação, e operação do sistema até o fim da sua vida útil (HERNANDEZ; KENNY, 2012).

Hernandez e Kenny (2012) definem análise de energia líquida (NER, do inglês Net Energy Ratio) como sendo a comparação entre a energia fornecida por um sistema durante sua operação, com a energia necessária para sua fabricação (energia embutida). Para os sistemas solares, essa análise compara a energia embutida do sistema com a economia gerada pela sua utilização, em relação a um sistema convencional. Os autores realizaram essa análise em residências na Irlanda, e concluíram que sistemas solares bem dimensionados e instalados podem alcançar a economia de energia esperada, fazendo com que a energia embutida destes sistemas corresponda a uma pequena parcela do ciclo de vida. Nos casos com melhor desempenho, os valores de NER calculados foram de 6,7 e 7,1, e os obtidos das medições foram de 7,4 e 7,9, respectivamente. No entanto, se por problemas de instalação ou dimensionamento o sistema real não tiver um desempenho tão bom quanto o estimado, a economia de energia na fase de operação será menor. Nos casos com maior diferença entre o desempenho projetado e o instalado, o valor esperado de NER era de 16,0 e 15,4, mas as instalações medidas alcançaram 7,7 e 4,4, respectivamente.

Kalogirou (2009) analisou os impactos ambientais de um sistema de aquecimento solar, sendo que a principal fonte de poluição no ciclo de vida deste sistema é produzida pela geração de energia para fabricação dos coletores solares. Por isso, foi calculada a energia embutida para produção dos coletores, desde a extração dos materiais até a fabricação. A energia embutida foi comparada com a energia

economizada pelo sistema solar durante a sua operação, considerando uma residência no Chipre. O estudo mostrou que o *payback* energético é de 13 meses, o que o autor considera um tempo satisfatório e favorável à utilização deste sistema.

Gustavsson e Joelsson (2010) realizaram análises de ciclo de vida em edificações residenciais na Suécia. Nos casos analisados, a fase de operação do edifício apresentou maior consumo de energia primária do que a fase de produção (entre 87% e 96% do consumo do ciclo de vida). Do consumo energético durante a operação, o aquecimento de água representa uma parcela importante, sendo em alguns casos o maior consumo. Os autores afirmam que o aquecimento de água e os usos domésticos de eletricidade correspondem a uma parte significativa do consumo de energia durante a operação, mas são pouco representativos no consumo energético para construção dos edifícios.

No trabalho de Hang et al. (2012), foi realizada a análise de ciclo de vida de sistemas de aquecimento solar, considerando aspectos energéticos, econômicos e ambientais. O estudo comparou coletores de placas planas e de tubos evacuados, dois sistemas de apoio (gás natural e eletricidade), e as condições climáticas das cidades de Los Angeles, Atlanta e Chicago, nos Estados Unidos. Os sistemas foram comparados com sistemas convencionais a gás e elétrico. Para todas as cidades analisadas, os sistemas que utilizam gás natural tiveram melhor desempenho energético do que os elétricos. O melhor desempenho foi observado no sistema solar de placas planas com apoio a gás, em todos os aspectos avaliados, e para todos os climas considerados.

Uma análise dos impactos ambientais de sistemas de aquecimento de água para uso doméstico também foi realizada para a cidade de São Paulo, no estudo de Taborianski (2002). Foram estimados os consumos de energia durante o ciclo de vida de sistemas de aquecimento solar, a gás natural, gás liquefeito de petróleo e chuveiros elétricos, para análise da contribuição de cada sistema na emissão de gases do efeito estufa. O estudo considerou o consumo de energia elétrica para extração e transformação das matérias primas, o consumo de eletricidade ou gás durante a operação dos sistemas, e os gastos de energia elétrica e óleo diesel para transporte dos equipamentos. Tanto para o chuveiro elétrico, quanto para o sistema solar, o maior gasto de eletricidade foi evidenciado na fase de operação. Os resultados mostraram o chuveiro elétrico como sendo o que mais emite gases em todo o ciclo de vida, devido ao alto consumo de eletricidade na fase de operação. O segundo maior poluente foi o aquecedor a gás natural (principalmente devido às perdas na distribuição do gás da concessionária até às residências),

seguido pelo solar e pelo gás liquefeito de petróleo. A comparação entre os sistemas foi realizada com base no consumo de eletricidade e na emissão de gases do efeito estufa, mas não foi realizada uma análise do consumo de energia primária.

No trabalho de Vechi (2014) foi realizada a Análise de Ciclo de Vida para a avaliação do Potencial de Aquecimento Global de sistemas de aquecimento solar, a gás e elétrico, para residências uni e multifamiliares, considerando o clima das cidades de Natal, Brasília e Florianópolis. Segundo o autor, o maior impacto do chuveiro elétrico e do aquecedor a gás é na fase de operação, sendo ainda mais significativo em locais de climas mais frios, como Florianópolis, devido à maior demanda de energia para aquecer a água. Para o sistema solar, a fabricação é bem mais complexa e exige mais materiais do que os outros dois sistemas, enquanto o consumo de energia na operação é reduzido devido ao uso da energia solar. Portanto, para o aquecimento solar, o autor concluiu que o impacto da fase de fabricação é maior do que o da fase de operação. Considerando o impacto em todo o ciclo de vida, para a residência unifamiliar concluiu-se que o maior impacto é causado pelo aquecedor a gás, seguido do aquecedor solar com apoio elétrico (de 46% a 89% do impacto do gás, dependendo da cidade) e do chuveiro elétrico (de 34% a 47% do impacto do gás). Para a edificação multifamiliar, o estudo aponta o boiler a gás como alternativa mais impactante, seguido do aquecedor de passagem a gás (de 43% a 63% do impacto do boiler a gás), do boiler elétrico (de 32% a 53%) e o chuveiro elétrico como menos impactante (de 27% a 49%).

Percebe-se que os trabalhos que realizam Análise de Ciclo de Vida apresentam resultados bastante divergentes em relação a qual sistema de aquecimento de água leva a um menor impacto ambiental ou consumo de energia. Essas diferenças ocorrem principalmente porque são considerados diferentes locais de estudo, que apresentam diferentes condições climáticas e matrizes energéticas. Contudo, simplificações na determinação do consumo de energia em cada fase podem levar a resultados equivocados. Em relação ao consumo na fase de operação, observa-se que muitos trabalhos não consideram o consumo energético para bombeamento da água nem perdas térmicas no sistema de distribuição, ou realizam dimensionamentos simplificados que podem levar a um valor subestimado do consumo de energia pelo sistema de aquecimento de apoio. Portanto, uma análise detalhada do consumo de energia em cada fase é essencial para uma avaliação correta dos impactos durante todo o ciclo de vida.

2.5 Considerações finais

Esta revisão da literatura buscou apresentar informações sobre sistemas de aquecimento de água, focando em pesquisas que estudam o desempenho destes sistemas, principalmente quanto ao consumo de energia. Verificou-se que o sistema de aquecimento de água corresponde a uma parcela significativa do consumo de energia das edificações residenciais, e que a eficiência desse sistema contribui para economia de energia da habitação como um todo, o que reflete também no consumo energético do país.

O sistema de aquecimento de água para uso doméstico é composto pelo sistema de geração de água quente, de armazenamento (que pode ou não existir), e de distribuição da água quente até os pontos de consumo. Cada uma dessas partes tem um papel importante no desempenho do sistema. Diversos trabalhos mostraram que as perdas de calor no armazenamento e na distribuição da água influenciam na eficiência do sistema, podendo aumentar o consumo energético e de água. Para se obter um sistema de aquecimento realmente eficiente, além da eficiência dos aquecedores, devem ser consideradas as perdas térmicas e o consumo de energia para circulação da água.

A fonte de energia utilizada é determinante no consumo de energia primária, e deve ser considerada na análise de eficiência energética. Estudos de vários países apontam que a utilização do aquecimento solar é uma alternativa para redução do consumo de energia primária. No entanto, quando as condições da edificação não são favoráveis para este sistema, como condições climáticas ou de sombreamento do entorno, podem haver outros tipos de sistema mais adequados.

Para uma análise energética mais abrangente, muitos trabalhos avaliam todo o ciclo de vida dos sistemas, desde a sua produção até o descarte ao fim da vida útil. Na maioria dos casos, o maior consumo de energia dos sistemas de aquecimento de água ocorre na fase de operação. Portanto, o estudo para a melhoria da eficiência energética nesta fase é capaz de contribuir significativamente para a redução do consumo de energia para o ciclo completo.

Para a verificação do consumo de energia de sistemas na fase de operação, muitos autores realizam medições em edificações existentes. Esse método possibilita a aferição do consumo real dos sistemas. Entretanto, muitas vezes não é técnica ou economicamente viável realizar modificações em um sistema já instalado. A simulação computacional é uma ferramenta que vem sendo amplamente utilizada

em várias pesquisas, pois permite comparar diversos parâmetros ainda na fase de projeto, e averiguar qual o mais adequado.

3 Método

Neste trabalho, foram analisados diferentes sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais quanto ao desempenho dos sistemas, com foco na eficiência energética e no consumo de água.

Este capítulo inicia com a caracterização do objeto de estudo. Nas seções 3.1 a 3.3, são apresentadas as tipologias de edificações analisadas, as condições climáticas e localização das cidades consideradas, e os tipos de aquecimento de água que foram abordados na pesquisa.

A primeira etapa do trabalho consiste no dimensionamento dos sistemas de aquecimento de água, com base em normas técnicas brasileiras e no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2012). Para os sistemas de aquecimento solar e a gás, o sistema foi dimensionado de forma a atender o nível A de eficiência energética segundo o RTQ-R. Os chuveiros elétricos são classificados com nível D ou E pelo RTQ-R, e o dimensionamento foi feito calculando-se a potência necessária para aquecer a água. A seção 3.4 apresenta os parâmetros e equações considerados.

Em seguida, os sistemas foram simulados com o programa EnergyPlus. A seção 3.5 detalha os parâmetros considerados nos modelos de simulação computacional. A partir dos dados obtidos nas simulações, os sistemas foram comparados em relação ao consumo de energia primária e de energia final, ao desempenho com a utilização ou não de isolamento térmico nas tubulações, e ao consumo de água (seções 3.6 a 3.9).

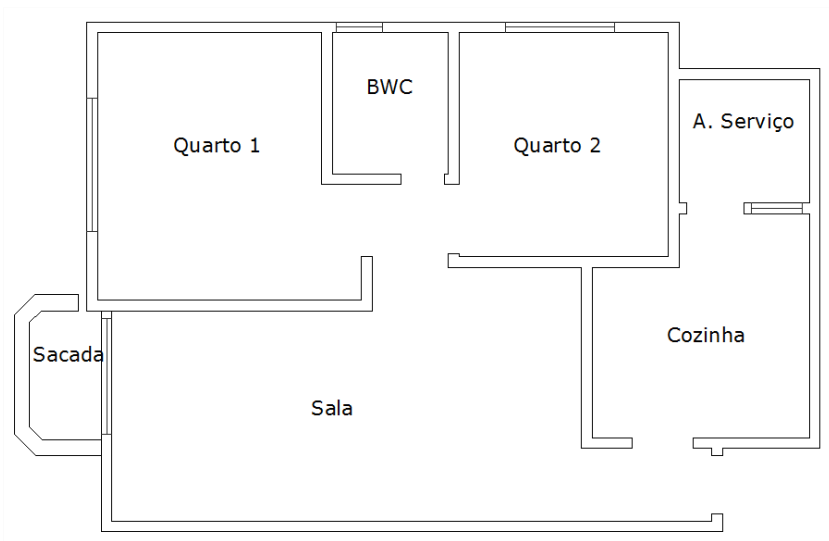
Os sistemas foram comparados, ainda, quanto aos seus custos de instalação, de operação e custo global. O método da análise de custos é descrito na seção 3.10. Por fim, foi realizada a comparação dos consumos de energia primária com o nível de eficiência energética segundo o RTQ-R, para cada sistema analisado, conforme descrito no item 3.11.

3.1 Tipologia das edificações

Este estudo contempla sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares. Foi adotada uma mesma tipologia de unidade habitacional, considerada isoladamente para edificação unifamiliar, e repetida na edificação multifamiliar. A

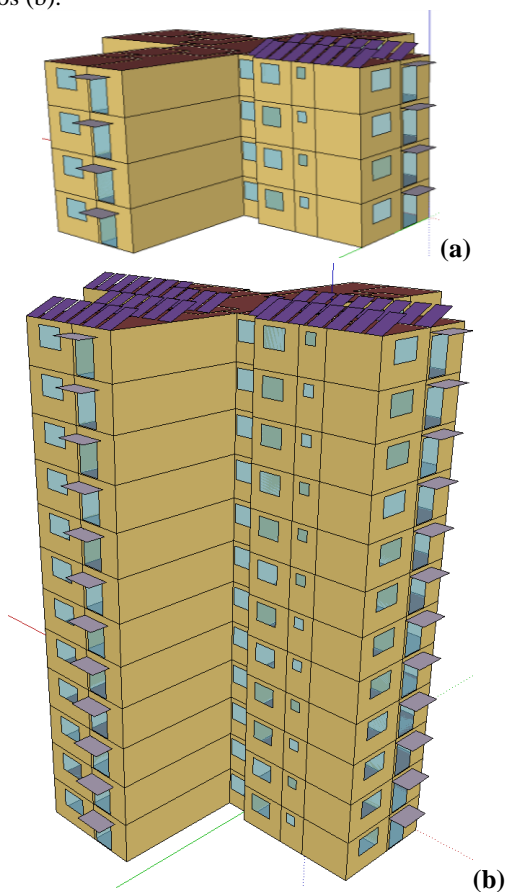
unidade considerada possui aproximadamente 60 m², um banheiro e dois quartos. A Figura 13 ilustra um exemplo dessa unidade habitacional.

Figura 13 – Exemplo de unidade habitacional



Foram consideradas duas tipologias de edifícios multifamiliares, uma com quatro apartamentos por andar e quatro andares (Figura 14a) e outra com quatro apartamentos por andar e doze andares (Figura 14b).

Figura 14 – Exemplo de edifício multifamiliar de quatro pavimentos (a) e de doze pavimentos (b).



Considerou-se que cada unidade é habitada por três moradores. De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2011-2012 (IBGE, 2013), aproximadamente 70% dos domicílios brasileiros possuem de dois a quatro moradores, em todas as regiões do país. Em todas as regiões, o domicílio com três moradores é o mais frequente.

Neste estudo, foi analisada a produção de água quente apenas para banho, usada nos chuveiros. Não foi considerada a existência de água quente em outros pontos, tais como torneiras de cozinha e banheiros, duchas higiênicas ou máquinas de lavar.

3.2 Localização e condições climáticas

As condições climáticas do local onde a edificação se encontra influenciam no desempenho do sistema de aquecimento de água. Em locais de clima quente é preciso menos energia para aquecer a água do que em regiões mais frias, pois quanto menor for a temperatura da água, mais energia será necessária para aquecê-la até a temperatura desejada (CASSARD et al., 2011). Nas regiões quentes, além dessa menor demanda de energia para aquecimento, a temperatura de conforto de banho pode ser mais baixa, o que leva a uma menor necessidade de aquecimento da água. Deve-se levar em conta também a influência da latitude do local e da incidência de radiação solar no desempenho de sistemas solares.

Desse modo, o desempenho dos sistemas de aquecimento de água foi analisado considerando diferentes localidades e climas do Brasil. Foi escolhida uma cidade de cada uma das cinco regiões geográficas brasileiras, buscando variar as latitudes e zonas bioclimáticas. A Tabela 3 e a Figura 15 apresentam, respectivamente, as características e a localização das cidades escolhidas. A cidade de Belém apresenta as temperaturas mais altas, com a média mensal das temperaturas máximas no mês mais quente de 32,3°C. Curitiba é a cidade mais fria, chegando a uma média das temperaturas mínimas no mês mais frio de 8,1°C. Na Figura 16, são apresentadas as temperaturas médias mensais das cidades analisadas ao longo do ano.

Tabela 3 – Características das cidades analisadas

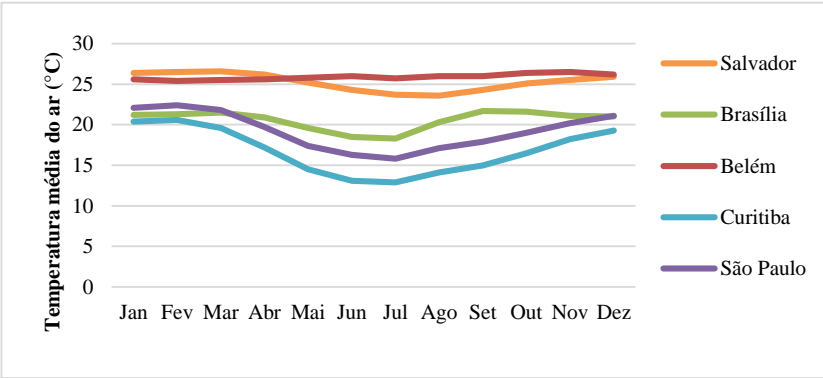
| Região | Cidade/ UF | Zona Bio- climática | Latitude | Temp. média anual (°C) | Temp. mínima média no mês mais frio (°C) | Temp. máxima média no mês mais quente (°C) |
|------------------|-----------------|------------------------|----------|------------------------------|--|--|
| Norte | Belém/ PA | 8 | -01° 27' | 25,9 | 21,6 | 32,3 |
| Nordeste | Salvador/ BA | 8 | -12° 58' | 25,3 | 21,2 | 30,0 |
| Centro- Oeste | Brasília/ DF | 4 | -15° 46' | 20,6 | 12,9 | 28,3 |
| Sudeste | São Paulo/SP | 3 | -23° 32' | 19,2 | 11,7 | 28,0 |
| Sul | Curitiba/ PR | 1 | -25° 25' | 16,8 | 8,1 | 26,7 |

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005b); Normas Climatológicas (INMET, 2014).

Figura 15 – Localização das cidades consideradas



Figura 16 – Temperatura média mensal das cidades analisadas



Fonte: Dados das Normais Climatológicas (INMET, 2014).

Como exposto na seção 2.1, é comum as residências não possuírem sistema para aquecer a água do banho nas regiões Norte e Nordeste. Como um dos objetivos deste trabalho é comparar o consumo de energia considerando as diferentes condições climáticas, optou-se por incluir estas duas regiões no estudo.

3.3 Tipos de sistemas de aquecimento de água

Dentre os diversos tipos de sistemas de aquecimento de água existentes, foram analisados os quatro mais comumente usados no Brasil: chuveiro elétrico, aquecedor a gás instantâneo, solar com apoio elétrico e solar com apoio a gás. Esse último foi considerado apenas na edificação multifamiliar, visto que este tipo de sistema não é comumente utilizado para demandas pequenas de água quente, como seria o caso de uma edificação unifamiliar para três pessoas com apenas um chuveiro.

A Tabela 4 apresenta as combinações de sistemas analisados para residência unifamiliar. Para o aquecimento solar com apoio elétrico, foram considerados dois modelos: um com resistência elétrica dentro do reservatório, comumente usado em residências no Brasil, e outro complementado por chuveiro elétrico, usado geralmente em habitações de interesse social.

Nos sistemas com distribuição de água quente, foram considerados também dois cenários para as tubulações: com e sem isolamento térmico. Estes cenários foram considerados para um dos casos em que as tubulações levam a água do aquecedor ao ponto de consumo (aquecedor a gás, que possui maior comprimento de tubulação) e para o sistema solar com chuveiro elétrico, em que a água pré-aquecida nos coletores é transportada até o aquecedor (no caso, o próprio chuveiro elétrico).

Tabela 4 – Sistemas analisados na edificação unifamiliar

| Sistema | Armazenamento | Distribuição água quente | Isolamento térmico das tubulações |
|--|---------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Chuveiro elétrico | Não | N/A | N/A |
| Aquecedor a gás instantâneo | Não | Tubulação plástica | Não |
| | | | Sim |
| Solar com chuveiro elétrico | Sim | Tubulação plástica | Não |
| | | | Sim |
| Solar com resistência elétrica no reservatório | Sim | Tubulação plástica | Sim |

Na Tabela 5, são apresentados os sistemas analisados nos edifícios multifamiliares. Nos sistemas com aquecimento solar, todo o sistema é central e coletivo (coletores, reservatório e aquecimento suplementar). O sistema de aquecimento solar individual com apoio por chuveiro elétrico não foi simulado para o edifício multifamiliar. Por ser um sistema individual, sua configuração é a mesma para a residência unifamiliar. Ou seja, cada conjunto de coletores e reservatório atende uma única unidade habitacional. A principal diferença do sistema solar com chuveiro elétrico na edificação multifamiliar seriam as perdas térmicas nas tubulações, já que para o edifício multifamiliar, a distância entre o chuveiro e o sistema de aquecimento solar é maior. A análise do desempenho do sistema para diferentes comprimentos de tubulação foi realizada para os modelos com aquecimento central coletivo. Quanto ao isolamento térmico, nos dois tipos de sistemas centralizados a água é transportada dos aquecedores até os pontos de consumo, e a análise dos cenários com e sem isolamento foi feita apenas para o sistema com apoio a gás.

Tabela 5 – Sistemas analisados nas edificações multifamiliares

| Sistema | Centralização | Armazenamento | Distribuição água quente | Isolamento térmico das tubulações |
|--|----------------------|----------------------|---------------------------------|--|
| Chuveiro elétrico | Individual | Não | N/A | N/A |
| Aquecedor a gás de passagem | Central privado | Não | Tubulação plástica | Sim |
| Solar com apoio a gás | Central coletivo | Sim | Tubulação plástica | Não |
| | | | | Sim |
| Solar com resistência elétrica no reservatório | Central coletivo | Sim | Tubulação plástica | Sim |

3.4 Dimensionamento dos sistemas

Um determinado tipo de sistema de aquecimento de água pode ter diferentes desempenhos de acordo com o seu dimensionamento e características consideradas no projeto. Para que diferentes sistemas pudessem ser comparados entre si, os sistemas foram dimensionados de acordo com as normas e regulamentos vigentes para definir as características dos seus componentes. A seguir serão apresentados os

parâmetros adotados e o método para o dimensionamento de cada sistema.

Foram consideradas as temperaturas mínimas da água nos pontos de utilização (temperatura da água misturada para consumo) indicadas no RTQ-R (INMETRO, 2012): 40°C para regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, e 38°C para regiões Norte e Nordeste.

Para efeitos de dimensionamento, a temperatura de água fria foi considerada como sendo a temperatura ambiente diminuída de 2°C, conforme indicado no RTQ-R (INMETRO, 2012). Foram adotados os valores médios de temperatura do ar de acordo com as normais climatológicas de cada cidade analisada, disponíveis no *site* do INMET (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>).

As vazões dos chuveiros variam para cada modelo. Para os chuveiros elétricos, a vazão dos modelos etiquetados varia entre 3,0 e 5,8 l/min conforme Inmetro (2014). A norma de instalações de água fria, NBR 5626 (ABNT, 1998), indica, para fins de dimensionamento de tubulações, uma vazão de 0,1 l/s para chuveiros elétricos, o que corresponde a 6 l/min. Como neste trabalho não será realizado o dimensionamento das tubulações de água fria, será considerada a vazão de um modelo disponível no mercado. Optou-se por adotar um valor de vazão compatível com os modelos de chuveiros elétricos existentes e que atendam ao dimensionamento, sendo considerada uma vazão de 3 l/min para os chuveiros elétricos. Para os sistemas de aquecimento central (solar e a gás), o tipo de chuveiro utilizado apresenta uma vazão maior, e será considerada uma vazão de 12 l/min, conforme indicado na NBR 5626 para duchas.

Para o dimensionamento de sistemas com reservatório, em que o consumo diário de água quente é calculado com base na vazão e padrão de uso dos equipamentos, foi considerado um banho de 10 minutos por dia por morador, conforme Altoé (2012).

3.4.1 Chuveiro elétrico

A potência do chuveiro elétrico é calculada de acordo com a Equação 1. Esta equação é apresentada na NBR 16057 (ABNT, 2012) para dimensionamento de aquecedores instantâneos a gás, e pode ser utilizada também para o chuveiro elétrico, pois é proveniente da fórmula de calor sensível. Através desta equação, calcula-se a potência útil do aquecedor instantâneo, tanto elétrico quanto a gás. A potência útil corresponde à potência necessária para aquecer uma determinada vazão

de água fria até a temperatura de banho (temperatura de consumo).

$$P_u = \frac{q \times c \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{água fria}})}{860} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

P_u é a potência útil (kW);

q é a vazão do chuveiro (litros/h);

c é o calor específico da água (1,00 cal/g°C para a faixa de temperatura da água considerada);

T_{consumo} é a temperatura da água misturada para consumo (°C);

$T_{\text{água fria}}$ é a temperatura da água fria (°C).

A temperatura de água fria é função da temperatura ambiente, e varia para cada cidade. Como os chuveiros elétricos possuem potência regulável, o dimensionamento será realizado considerando a temperatura média no mês mais frio, para cada cidade analisada. Desta forma, nas estações que a temperatura da água fria é maior do que a adotada no dimensionamento, o usuário pode ajustar a potência do chuveiro elétrico para obter a temperatura de banho desejada.

Adotaram-se chuveiros elétricos disponíveis no mercado, de acordo com a tabela do Inmetro (2014), cuja potência nominal e o rendimento atendem à potência útil calculada, conforme Equação 2.

$$P_n = \frac{P_u}{n} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

P_u é a potência útil (kW);

P_n é a potência nominal (kW);

n é o rendimento do aquecedor (%).

3.4.2 Aquecedor a gás

Neste trabalho, foram considerados apenas aquecedores a gás liquefeito de petróleo (GLP), e os aquecedores foram dimensionados de acordo com a NBR 16057 (ABNT, 2012). A metodologia apresentada nesta norma é, de maneira geral, a mesma apresentada no RTQ-R (INMETRO, 2012), com exceção do gráfico para cálculo do volume de pico, que resulta em valores diferentes. Optou-se por utilizar o gráfico da norma, por ser o documento mais recente.

Para os aquecedores instantâneos das unidades habitacionais, a potência foi calculada conforme a Equação 1. A vazão adotada na equação corresponde à vazão máxima demandada simultaneamente nos pontos de utilização, o que, no caso desse estudo, corresponde à vazão do chuveiro.

Para o sistema solar com *backup* a gás, foram considerados aquecedores instantâneos conjugados aos reservatórios, o que corresponde a um sistema central coletivo de acumulação. Mesmo com o aquecimento solar, o sistema a gás deve ser dimensionado para atender toda a demanda de água quente, para garantir as temperaturas de utilização em dias em que a incidência solar não é suficiente.

Para o sistema central a gás, a potência dos aquecedores e o volume dos reservatórios foram calculados pelo método do Anexo C da NBR 16057 (ABNT, 2012), detalhado no Anexo A deste trabalho. Essa norma estabelece que o volume de consumo de água quente seja calculado a partir da vazão máxima e do tempo de uso dos pontos de consumo.

Dentre os modelos disponíveis na base de dados do Inmetro para aquecedores a gás (INMETRO, 2015a), foram adotados aquecedores a gás com Etiqueta nível A que atendam à potência calculada. A relação entre a potência nominal e a potência útil é expressa na Equação 2.

3.4.3 Aquecimento solar

O sistema de aquecimento solar considerado neste estudo é composto de coletores de placas planas (tipo de coletor mais utilizado no Brasil) e reservatório térmico. O sistema solar foi dimensionado pelo método descrito no RTQ-R (INMETRO, 2012), de forma a atender o nível A. Esta metodologia está detalhada no Anexo B.

Neste método, é calculada a área de coletores necessária para atingir uma determinada fração solar anual. A fração solar corresponde à parcela de energia requerida para aquecimento de água, no período de um ano, que é suprida pela energia solar. Para atender o nível A, o sistema deve ter uma fração solar mínima de 70%.

O volume de armazenamento e a área de coletores são calculados com base no volume de consumo, e na orientação, inclinação e propriedades técnicas dos coletores. Também são levadas em conta as características climáticas da região analisada, como temperatura ambiente e incidência de radiação solar.

O RTQ-R (INMETRO, 2012) especifica que sejam calculadas as frações solares para cada mês do ano e, a partir delas, obtenha-se a

fração solar anual. Para o cálculo de cada fração solar mensal, foram utilizadas as temperaturas do ar e a radiação solar de cada mês, para cada cidade analisada. As temperaturas do ar foram obtidas nas normais climatológicas disponíveis no site do INMET. A radiação solar no plano dos coletores foi obtida no programa RADIASOL2, desenvolvido pelo LABSOL da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (disponível no site <http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>). O RADIASOL2 fornece a radiação solar incidente no plano inclinado ($\text{kWh}/(\text{m}^2.\text{dia})$) para cada mês do ano, conforme a inclinação e orientação dos coletores.

Foram escolhidos coletores com etiqueta A, obtidos na base de dados do Inmetro (2015b). Consideraram-se os coletores voltados para o Norte Geográfico (azimute de 0°), e que sua inclinação é igual à latitude do local acrescida de 10° , como recomendado no RTQ-R (INMETRO, 2012). No presente estudo, não foi considerado o sombreamento do entorno sobre os coletores, ou seja, considera-se que a edificação está em uma área livre de obstruções.

Calculou-se o volume diário de água quente consumida com base na vazão dos chuveiros, duração e quantidade de banhos por dia. Para o sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico a vazão do chuveiro adotado é de 3 litros/min, e para os outros casos, a vazão é de 12 litros/min. No entanto, deve-se observar o volume mínimo diário determinado pelo RTQ-R, de 50 litros por pessoa por dia, considerando duas pessoas por dormitório. Como a residência estudada possui dois quartos, o volume mínimo que deve ser adotado segundo o RTQ-R para a unidade habitacional é de 200 litros por dia.

Embora o RTQ-R indique que a temperatura de armazenamento da água deva ser no mínimo igual à temperatura de consumo, alguns autores recomendam uma temperatura de armazenamento de 60°C , como forma de evitar a proliferação da bactéria *Legionella*. A infecção pela bactéria *Legionella*, que causa em humanos um tipo de pneumonia que pode ser fatal, ocorre através da inalação de gotículas de água. Esta bactéria se prolifera principalmente em reservatórios em que a água se encontra a uma temperatura entre 20 e 45°C (HSE, 2013). A temperaturas acima de 60°C , a bactéria é destruída. Portanto, em sistemas abertos, em que a água armazenada vai diretamente para os pontos de consumo, a temperatura do reservatório deve ser levada em conta. Este *setpoint* da temperatura do reservatório foi considerado no dimensionamento do sistema e nas análises de desempenho em estudos como o de Colmenar-Santos et al. (2014) e Vieira et al. (2014). A influência do aumento do *setpoint* da temperatura foi analisada para o sistema com resistência elétrica no reservatório da residência

unifamiliar. Consideraram-se dois cenários: um com temperatura de armazenamento igual a 60°C, e outro com temperatura de armazenamento próxima à temperatura de consumo, 45°C.

Para os sistemas solares com resistência elétrica no reservatório, considerou-se a potência indicada pelo fabricante do modelo adotado. Nos sistemas que o aquecimento complementar é feito pelo chuveiro elétrico, utilizou-se o mesmo modelo descrito no item 3.4.1. Para o sistema com *backup* a gás, adotou-se o sistema descrito na seção 3.4.2.

3.5 Simulação computacional

A análise do consumo de energia e do desempenho dos sistemas foi realizada por simulação computacional com o programa EnergyPlus versão 8.2. Nesta seção, são detalhados os parâmetros considerados na simulação, com base no *Input Output Reference* do programa EnergyPlus.

Foram usados os Arquivos Climáticos SWERA de cada uma das cidades consideradas no estudo, disponíveis na página do programa (http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm). As simulações foram realizadas para o período de um ano (do dia 1º de janeiro a 31 de dezembro).

No EnergyPlus, o sistema de aquecimento de água é modelado como circuitos (*Loops*). Em cada circuito são definidos os trechos (*branch*) e conexões (que podem ser do tipo *mixer*, quando vários trechos se unem em um, ou *splitter*, quando vários trechos se ramificam). Em cada circuito deve haver um trecho de entrada, um ou mais trechos intermediários, e um trecho de saída. Em cada trecho são definidos os componentes do sistema (pontos de utilização de água, aquecedores, reservatórios, tubulações, bombas, entre outros), referenciando ao objeto em que as características do componente são detalhadas. Cada trecho pode ter um ou mais componentes, sendo que componentes em um mesmo trecho estão ligados em série. Para ligações em paralelo, devem ser usados mais de um trecho e conexões.

Alguns sistemas reais possuem menos equipamentos do que o número de trechos exigidos no modelo do EnergyPlus, devendo ser usado o objeto *Pipe:Adiabatic* nos trechos sem equipamentos. É o caso, por exemplo, dos chuveiros elétricos, em que o aquecimento da água ocorre no próprio chuveiro. Deve ser especificado um objeto para o aquecedor e outro para o chuveiro, e a ligação entre eles é feita pelo objeto *Pipe:Adiabatic*.

É importante ressaltar que, embora o EnergyPlus possibilite

simular uma gama de combinações de circuitos e instalações, em muitos casos as instalações simuladas não são exatamente iguais às do edifício. De acordo com o *EnergyPlus Engineering Reference*, o programa é focado em simular o desempenho energético de edifícios em um longo período de tempo, e não tem a intenção de simular modelos complexos na sua configuração exata. Desse modo, o simulador deve desenvolver um modelo simplificado, de forma a atender às capacidades do programa e ser possível a análise das questões importantes quanto ao consumo de energia do edifício.

3.5.1 Parâmetros considerados nos modelos de simulação

O EnergyPlus exige que seja considerado um objeto para a bomba de circulação da água nos circuitos, mesmo para sistemas de termossifão. As bombas foram modeladas como sendo de velocidade variável (objeto *Pump:VariableSpeed*). As bombas são dimensionadas pelo programa, fazendo que o sistema tenha a vazão necessária para atingir os *setpoints* de temperatura definidos. O consumo de energia pelas bombas não foi considerado neste estudo.

A temperatura de água fria é definida no objeto *Water Mains Temperature* do EnergyPlus. Optou-se por utilizar *schedules* com valores definidos para cada mês, sendo a temperatura da água fria adotada igual à temperatura do ar média no mês menos 2°C, como foi feito no dimensionamento.

A temperatura da água nos pontos de consumo é definida através de *schedules*. Diferentemente do dimensionamento, em que foi adotada a mesma temperatura de consumo em todos os meses do ano, optou-se por considerar na simulação uma variação na temperatura conforme a estação do ano. Este cenário corresponde a uma tentativa de simular uma condição mais próxima à realidade, considerando uma variação da temperatura de consumo ao longo do ano. Isso porque, na prática, se utilizam temperaturas de banho mais baixas no verão, e banhos mais quentes no inverno. A Tabela 6 apresenta as temperaturas de banho consideradas para cada cidade.

Tabela 6 – Temperaturas de banho consideradas nas simulações

| Cidade | Meses | Temperatura de banho |
|-----------------------------------|---|----------------------|
| Curitiba São Paulo Brasília | Janeiro, fevereiro e março (verão) | 35°C |
| | Abril, maio, junho (outono) Outubro, novembro e dezembro (primavera) | 38°C |
| | Julho, agosto e setembro (inverno) | 40°C |
| Salvador Belém | Todos os meses do ano | 35°C |

Os chuveiros são modelados com o objeto *WaterUse:Equipment*. Nele são informadas as *schedules* de padrão de uso e temperatura de consumo, bem como a vazão do chuveiro. O programa calcula as vazões de água fria e de água quente necessárias para atingir a temperatura de consumo pré-definida.

O padrão de uso da água quente na residência é definido através de *schedules* de frequência e duração do uso do chuveiro. Foi considerado um banho por dia por morador, e que cada banho tem duração de dez minutos.

Os horários de banho foram escolhidos buscando se aproximar da curva diária média típica das residências brasileiras (Figura 1). Para os sistemas de aquecimento instantâneo, o horário de banho não influencia no consumo, visto que está sendo adotada a mesma temperatura de água fria e de consumo durante o mês. Deste modo, para os sistemas com aquecedor a gás e com chuveiro elétrico, foi considerado um banho às 6h30 da manhã, outro às 7h30, e outro às 8h30.

Para o aquecimento solar, o desempenho do sistema é influenciado pelo horário de uso dos chuveiros, se pela manhã ou à noite, já que o sistema aproveita a energia do sol para o aquecimento da água. Para a edificação unifamiliar, foram simulados dois cenários: um com todos os banhos pela manhã (6h30, 7h30 e 8h30) e outro com todos os banhos à noite (18h30, 19h30 e 20h30).

Para as edificações multifamiliares, os banhos foram distribuídos entre as unidades, considerando algumas com banho pela manhã, e outras à noite, de modo que em todos os pavimentos ocorram banhos em todos os períodos. A Tabela 7 mostra a distribuição dos banhos para o edifício.

Tabela 7 – Distribuição dos banhos na edificação multifamiliar

| | Apartamento 01 | Apartamento 02 | Apartamento 03 | Apartamento 04 |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Horário | 6h00 | 6h30 | 18h00 | 18h30 |
| de | 7h00 | 7h30 | 19h00 | 19h30 |
| banhos | 8h00 | 8h30 | 20h00 | 20h30 |

Para inserir os chuveiros no circuito do modelo, deve ser utilizado o objeto *WaterUse:Connections*, que define um conjunto de equipamentos para utilização de água. Para a residência unifamiliar, o objeto *WaterUse:Connections* contém apenas um equipamento, o chuveiro da casa. Para o edifício multifamiliar, foi criado um *WaterUse:Connections* para cada pavimento, sendo que cada conjunto contém os quatro chuveiros do pavimento.

Para simulações energéticas de um sistema de aquecimento de água, pode-se modelar apenas este sistema (aquecedores, pontos de utilização, etc.), sem necessidade de criar zonas térmicas. Para análise das perdas de calor pelas tubulações e reservatórios, as trocas térmicas com o ar podem ser modeladas através de *schedules* de temperatura e velocidade do ar, ou por zonas térmicas. Como um dos objetivos deste trabalho é avaliar as perdas energéticas e a sua influência na eficiência dos sistemas, optou-se por uma análise considerando as trocas de calor com as zonas térmicas. Para isso, é necessário que o modelo contemple a edificação como um todo, dividida por zonas térmicas.

A envoltória das edificações, tanto da unifamiliar quanto das multifamiliares, foi modelada com base em uma mesma unidade habitacional. Foi considerada uma zona térmica por ambiente da unidade. Foram consideradas paredes de alvenaria cerâmica com revestimento de argamassa. Para os pisos e coberturas, foi adotada laje maciça de concreto. Nos modelos com aquecimento solar, os coletores são instalados sobre a cobertura. As aberturas são de vidro comum, com abertura para ventilação natural. Os coeficientes e parâmetros relacionados à ventilação natural foram modelados de acordo com as especificações do RTQ-R (INMETRO, 2012). O padrão de uso da ventilação natural foi modelado por controle automático por temperatura, habilitando a abertura quando a temperatura interna é maior do que a externa ou maior do que 20°C.

3.5.2 Modelos com chuveiro elétrico e aquecedor a gás

Para a simulação de aquecedores instantâneos, como chuveiros

elétricos e aquecedores a gás de passagem, é utilizado o objeto *WaterHeater:Mixed* do EnergyPlus. Esse objeto é usado para modelar sistemas instantâneos, ou com reservatório em que toda a água se encontra a uma mesma temperatura (sem estratificação). No caso de sistemas instantâneos, o campo *Tank Volume* é preenchido com um volume pequeno (geralmente o volume interno do aquecedor), pois não há reservatório.

O controle do aquecedor (*Heater Control Type*) deve ser do tipo *Modulate* para aquecedores instantâneos. Nesses casos a potência do aquecedor varia entre as capacidades máxima e mínima.

Para a análise das trocas térmicas do aquecedor com o ambiente, a temperatura do ar pode ser determinada por *schedules*, zonas térmicas ou pela temperatura do ar no exterior. Foi considerado que o chuveiro elétrico está localizado no banheiro e o aquecedor a gás na área de serviço, indicando-se no modelo a respectiva zona térmica.

No campo *Heater Fuel Type*, é indicada a fonte de energia utilizada (*PropaneGas* para aquecedores a gás, e *Electricity* para chuveiros elétricos). A eficiência do aquecedor é informada no campo *Heater Thermal Efficiency*, e foi considerada conforme o rendimento do modelo escolhido no dimensionamento.

O campo *Use Side Effectiveness* indica a eficiência do trocador de calor entre o reservatório e o circuito de utilização. Para sistemas diretos, o valor deve ser igual a 1, o que representa que todo o calor é transferido do aquecedor para o circuito de distribuição.

3.5.3 Modelo com sistema de aquecimento solar

O modelo de simulação do sistema solar no EnergyPlus é composto pelos coletores solares, reservatórios de água quente e sistema de aquecimento auxiliar. Para definir os coletores, são usados os objetos *SolarCollector:FlatPlate:Water* e *SolarCollectorPerformance:FlatPlate*.

No objeto *SolarCollectorPerformance:FlatPlate*, é definido o desempenho térmico e óptico do coletor. Esses parâmetros são baseados nos procedimentos de teste da ASHRAE Standard 93 e 96. O EnergyPlus apresenta um banco de dados com as informações de coletores existentes no mercado americano, com cinco parâmetros técnicos. Foram utilizados nas simulações modelos de coletores disponíveis no EnergyPlus com fator de eficiência óptica $F_R(\square\square)$ (correspondente ao coeficiente 1 da equação de eficiência no EnergyPlus) e coeficiente global de perdas F_{RUL} (correspondente ao

oposto do coeficiente 2 da equação de eficiência no EnergyPlus) próximas a dos coletores considerados no dimensionamento, obtidos na base de dados do Inmetro (2015b). A Tabela 8 relaciona as características dos coletores considerados no dimensionamento com os adotados na simulação.

Tabela 8 – Parâmetros dos coletores solares considerados no dimensionamento (Inmetro) e nas simulações com o EnergyPlus

| Modelos | Inmetro | | EnergyPlus | | | | |
|---|--|--------------|--|--|--|---|---|
| | F_R ($\tau\alpha$) _n | $F_{R_{UL}}$ | Coef 1 equação de eficiên- cia | Coef 2 equação de eficiên- cia | Coef 3 equação de eficiên- cia | Coef. 2 modifica- dor do ângulo de incidência | Coef. 3 modifica- dor do ângulo de incidência |
| Unifamiliar Curitiba e São Paulo; Multi- familiar | 0,77 | 4,2 7 | 0,774 | -4,2 | -0,006 | -0,0052 | -0,1585 |
| Unifamiliar em Brasília | 0,74 9 | 6,0 74 | 0,763 | -6,62 | -0,01 | -0,123 | -0,103 |
| Unifamiliar em Salvador e Belém | 0,73 | 4,4 1 | 0,737 | -4,4193 | -0,0503 | -1395 | -0,0127 |

A área, posição, inclinação e orientação dos coletores são modeladas no EnergyPlus como um elemento de sombreamento (*Shading*). No objeto *SolarCollector:FlatPlate:Water*, relaciona-se a superfície (modelada como *Shading*) às propriedades de desempenho definidas no objeto *SolarCollectorPerformance:FlatPlate*.

Para a residência unifamiliar, os reservatórios foram modelados com o objeto *WaterHeater:Mixed*. Assim como para os aquecedores instantâneos, deve-se definir se o reservatório se encontra em ambiente externo ou em uma zona térmica. Foi considerado que o reservatório se encontra em ambiente externo (sobre a cobertura).

Foram considerados dois modelos de sistema de aquecimento solar para a residência unifamiliar, conforme indicado na

Tabela 9. No primeiro modelo, não há resistência elétrica dentro do reservatório, e a saída de água é um chuveiro elétrico. Desta forma, o pré-aquecimento da água é feito pelos coletores solares e, quando necessário, é complementado pela resistência elétrica do chuveiro.

No segundo modelo, o aquecimento auxiliar é feito por uma resistência elétrica dentro do reservatório. O controle de acionamento da resistência é do tipo *Cycle*: quando o reservatório atinge uma

temperatura menor do que a temperatura especificada, a resistência é ligada; quando a água armazenada chega a uma temperatura superior ao *setpoint* programado, a resistência desliga. A

Tabela 9 indica as temperaturas consideradas para a operação do aquecedor: uma condição de temperatura de armazenamento de 60°C, para evitar a proliferação da bactéria *Legionella*, e outro com temperatura de armazenamento próxima da temperatura de consumo, conforme indicado no RTQ-R.

Tabela 9 – Tipos de sistema de aquecimento solar simulados para residência unifamiliar

| Tipo de aquecimento de apoio | Temperatura para acionamento da resistência elétrica | Temperatura para desligamento da resistência elétrica |
|--|--|--|
| Chuveiro elétrico | - | - |
| Resistência elétrica no reservatório – cenário 1 | 40°C | 60°C |
| Resistência elétrica no reservatório – cenário 2 | 40°C nos meses de inverno 38°C na primavera e outono 35°C nos meses de verão | 45°C nos meses de inverno 43°C na primavera e outono 40°C nos meses de verão |

Observação: para Salvador e Belém, foi considerado que durante todo o ano o aquecedor é acionado quando a água chega a uma temperatura de 35°C, e desligado a 40°C.

Para a edificação multifamiliar, no sistema com apoio elétrico, o volume de armazenamento foi dividido em dois reservatórios, sendo que apenas o segundo possui resistência elétrica. No sistema com apoio a gás, o volume armazenado também foi dividido em dois reservatórios. O segundo, ligado aos aquecedores a gás, tem o volume calculado no dimensionamento do sistema coletivo a gás, e o primeiro, o volume dimensionado para o sistema solar. O reservatório para armazenamento de água da edificação multifamiliar, que possui maior volume do que o da residência unifamiliar, foi modelado com o objeto *WaterHeater:Stratified* como sendo um tanque vertical, proporcionando maior eficiência pela estratificação.

As temperaturas de *setpoint* dos reservatórios da edificação multifamiliar estão descritas na Tabela 10. Como as perdas térmicas no sistema central coletivo são maiores do que na residência unifamiliar, foram adotadas temperaturas de *setpoint* um pouco mais altas do que para casa, buscando-se atender a temperatura de banho desejada em

todos os pavimentos.

Tabela 10 – Tipos de sistema de aquecimento solar simulados para residência multifamiliar

| Tipo de aquecimento de apoio | Temperatura para acionamento da resistência elétrica | Temperatura para desligamento da resistência elétrica |
|--------------------------------------|--|--|
| Resistência elétrica no reservatório | 43°C nos meses de inverno 41°C na primavera e outono 38°C nos meses de verão | 48°C nos meses de inverno 46°C na primavera e outono 43°C nos meses de verão |
| Aquecedor a gás | | |

Observação: para Salvador e Belém, foi considerado que durante todo o ano o aquecedor é acionado quando a água chega a uma temperatura de 38°C, e desligado a 43°C.

3.5.4 Tubulações

Nos sistemas centrais, tanto privados quanto coletivos, deve ser modelado o sistema de distribuição de água quente. Nos casos com chuveiro elétrico, em que não há tubulações de água quente porque a água é aquecida diretamente no chuveiro, usou-se o objeto *Pipe:Adiabatic* do EnergyPlus.

Para modelar as tubulações de água quente dos sistemas centrais, foi utilizado o objeto *Pipe:Indoor* do programa. Esse objeto simula a transferência de calor entre as tubulações e a zona térmica em que cada trecho de tubulação está localizado. Com a utilização dos objetos *Material* e *Construction*, são definidos os materiais das tubulações e do isolamento térmico, e suas propriedades. As camadas devem ser listadas começando pela mais externa (isolante) até a mais interna (parede do tubo).

Para os sistemas com um aquecedor a gás para cada unidade habitacional, o modelo de simulação considera as tubulações do aquecedor, localizado na área de serviço, até o chuveiro, no banheiro. O comprimento e o diâmetro das tubulações nesse caso são os mesmos tanto para a casa, quanto para os apartamentos (Figura 17).

Para o sistema solar, os coletores e reservatórios são instalados na cobertura. Nestes casos, o circuito secundário (tubulações entre o reservatório e o chuveiro) compreende a prumada que vem dos equipamentos na cobertura e as tubulações horizontais na unidade habitacional. Para a casa, foi considerado que o reservatório se encontra acima do banheiro, de modo que o comprimento de tubulação fosse o

menor possível. A Figura 18 ilustra as tubulações de distribuição do sistema de aquecimento solar da casa, e a Figura 19, do edifício multifamiliar de quatro pavimentos. Para o edifício de doze pavimentos o esquema é o mesmo, mas com mais pavimentos. O *EnergyPlus* não considera parâmetros relacionados a perdas de cargas e pressão nos pontos, e estes parâmetros não foram considerados na análise.

Figura 17 – Planta baixa ilustrando os comprimentos de tubulação entre os aquecedores e o chuveiro no sistema a gás nas unidades habitacionais.

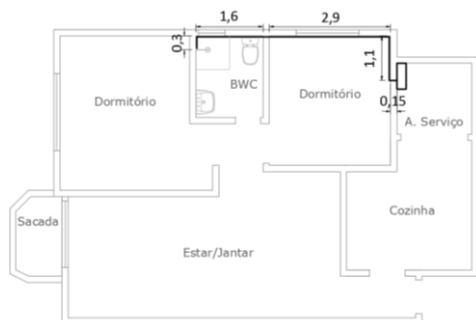


Figura 18 – Esquema vertical ilustrando o comprimento de tubulação entre o reservatório e o chuveiro no aquecimento solar da casa.

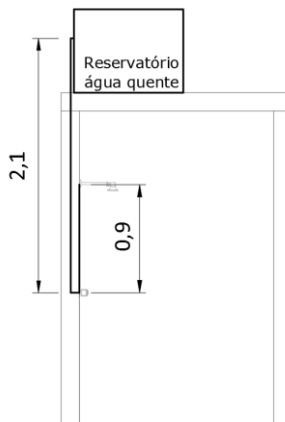
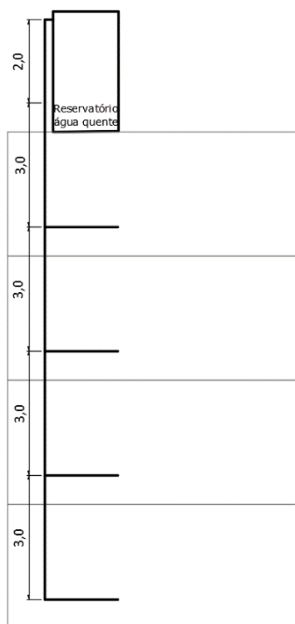


Figura 19 – Esquema vertical ilustrando os comprimentos de tubulação no edifício multifamiliar de quatro pavimentos



Para a distribuição da água quente, foram consideradas tubulações de PPR com e sem isolamento térmico. O isolante utilizado é de polietileno expandido, com 1 centímetro de espessura e condutividade térmica de 0,035 W/mK, atendendo às exigências do RTQ-R (INMETRO, 2012).

A tubulação do circuito primário do aquecimento solar (entre os coletores e o reservatório) é de cobre com o mesmo isolante térmico utilizado no sistema secundário. O isolamento dessas tubulações foi mantido em todos os casos simulados devido à alta condutividade térmica do cobre e por essas tubulações estarem localizadas em ambiente externo. Para modelar esta tubulação, foi utilizado o objeto *Pipe:Outdoor* do *EnergyPlus*, que simula as trocas de calor entre o tubo e o ambiente externo.

A Tabela 11 apresenta as características das tubulações consideradas no modelo de simulação da casa. A Tabela 12 mostra as características das tubulações do sistema de distribuição do aquecimento coletivo no edifício multifamiliar de quatro pavimentos, e a Tabela 13,

para o edifício de doze pavimentos. Para o aquecimento a gás nos apartamentos, as tubulações são iguais às da casa.

Tabela 11 – Características das tubulações consideradas na simulação da edificação unifamiliar

| Sistema | Material do tubo | Diâmetro nominal (mm) | Espessura da parede do tubo (mm) | Comprimento (m) |
|-----------------------------|------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------|
| Gás instantâneo | PPR | 20 | 2,8 | 7,15 |
| Solar – circuito primário | Cobre | 22 | 0,60 | 0,90 |
| Solar – circuito secundário | PPR | 20 | 2,8 | 3,00 |

Tabela 12 – Características das tubulações do sistema de distribuição consideradas na simulação da edificação multifamiliar de quatro pavimentos

| Trecho | Diâmetro nominal (mm) | Espessura da parede do tubo (mm) | Comprimento (m) |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------|
| Barrilete | 32 | 4,4 | 2,0 |
| Prumada 4º pavimento | 32 | 4,4 | 3,0 |
| Prumada 3º pavimento | 32 | 4,4 | 3,0 |
| Prumada 2º pavimento | 25 | 3,5 | 3,0 |
| Prumada 1º pavimento | 25 | 3,5 | 3,0 |
| Ramais (em cada pavimento) | 25 | 3,5 | 3,5 |

Tabela 13 – Características das tubulações do sistema de distribuição consideradas na simulação da edificação multifamiliar de doze pavimentos

| Trecho | Diâmetro nominal (mm) | Espessura da parede do tubo (mm) | Comprimento (m) |
|-----------------------------|------------------------------|---|------------------------|
| Barrilete | 40 | 5,5 | 2,0 |
| Prumada 12º pavimento | 40 | 5,5 | 3,0 |
| Prumada 3º ao 11º pavimento | 32 | 4,4 | 27,0 |
| Prumada 1º e 2º pavimento | 25 | 3,5 | 6,0 |
| Ramais (em cada pavimento) | 25 | 3,5 | 3,5 |

3.5.5 Síntese dos cenários simulados

Na Figura 20, é apresentado um resumo de todos os casos simulados neste trabalho para a residência unifamiliar. Para as edificações multifamiliares, os cenários analisados estão indicados na Figura 21.

Figura 20 – Fluxograma dos tipos de sistemas e cenários simulados para a edificação unifamiliar

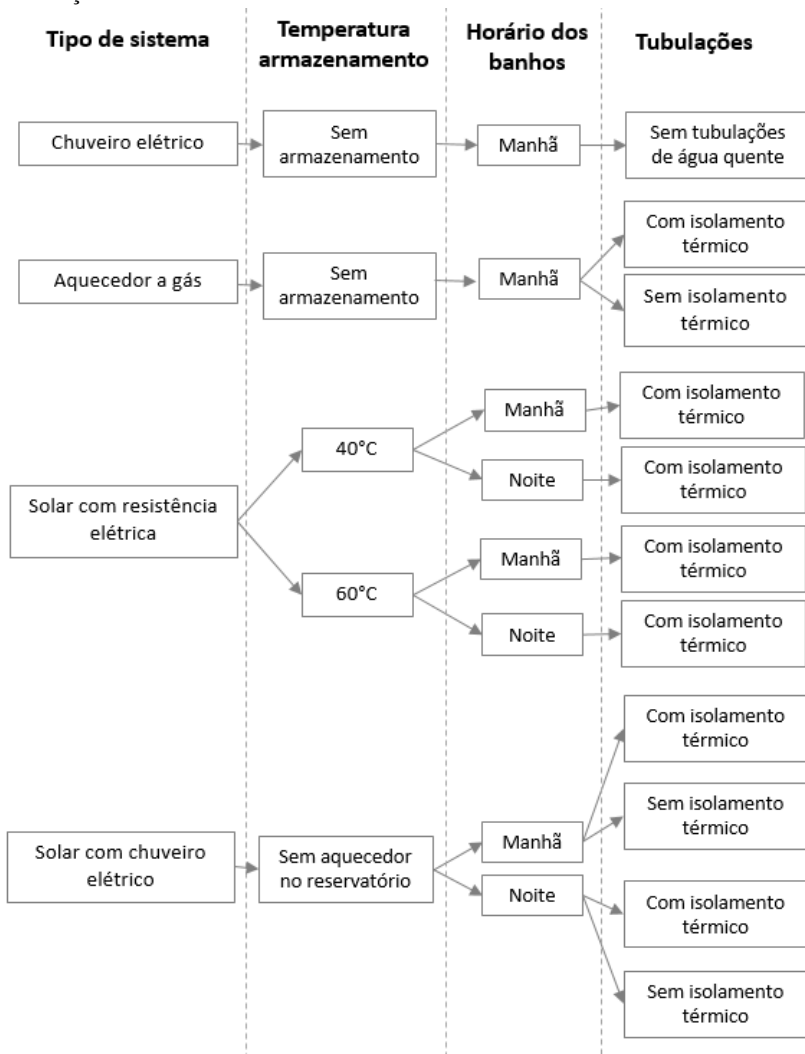
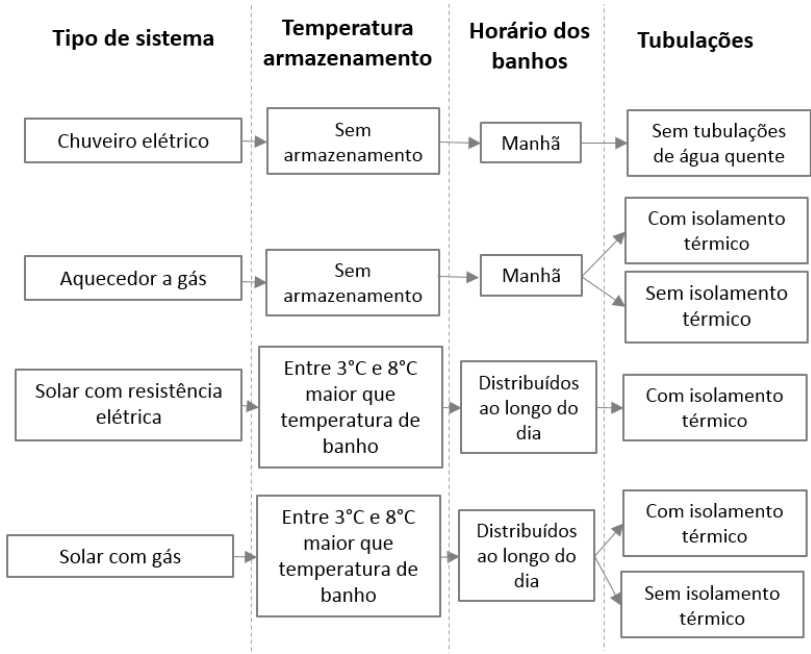


Figura 21 – Fluxograma dos tipos de sistemas e cenários simulados para edificações multifamiliares



3.6 Consumo de energia final

A comparação entre os diferentes sistemas em relação ao consumo de energia final pode ser feita apenas para sistemas que utilizam a mesma fonte de energia para aquecimento de água. No presente trabalho, foram analisados sistemas que utilizam energia elétrica e sistemas que usam gás liquefeito de petróleo.

A partir das simulações, foram obtidos os consumos mensais de energia final (eletricidade e gás), em kWh, de cada sistema. Foram elaborados gráficos com os consumos mensais de cada sistema ao longo do ano, e tabelas para comparação do consumo anual. Para a residência unifamiliar, a análise foi dividida entre sistemas que utilizam chuveiro elétrico e sistemas que utilizam ducha, para comparação do consumo por sistemas com a mesma vazão de banho.

3.7 Consumo de energia primária

Para comparação da eficiência dos sistemas que utilizam

diferentes fontes de energia, foi determinado o consumo anual de energia primária de cada sistema, através da Equação 3.

$$E_p = E_F \times F_C$$

Onde:

E_p é o consumo anual de energia primária (kWh);

E_F é o consumo anual de energia final (kWh);

F_C é o fator de conversão de energia final em primária (adimensional).

Para o gás liquefeito de petróleo, foi adotado o fator de conversão calculado por Santos (2011). Para a eletricidade, o fator varia com mudanças na matriz energética do país. O cálculo de Santos (2011) considerou dados anteriores a 2009. Nos últimos anos, o cenário energético brasileiro passou por grandes mudanças, principalmente devido à crise hídrica e maior participação das usinas térmicas. Por isso, optou-se por adotar o fator de conversão calculado por Santos (2015), com a mesma metodologia de Santos (2011), mas com dados de 2013, obtidos nas séries históricas divulgadas pela EPE (2015).

No trabalho de Santos (2011), foram calculados fatores de conversão para eletricidade considerando diferentes cenários futuros para matriz energética brasileira, resultando em valores entre 1,49 e 1,75. Com o intuito de analisar a influência de variações na matriz energética no consumo de energia primária pelos diferentes tipos de aquecimento de água, calculou-se também o consumo de energia primária considerando o cenário mais crítico apresentado por Santos (2011).

A Tabela 14 indica os fatores de conversão em energia primária adotados nesse trabalho. Os resultados foram comparados através de gráficos com o consumo anual de energia primária de cada sistema, para cada cidade e tipologia de edificação.

Tabela 14 – Fatores de conversão em energia primária para o Brasil.

| Fonte de Energia | Fator de Conversão | |
|----------------------------|--------------------|----------------------|
| | Cenário atual | Cenário mais crítico |
| Eletricidade | 1,46 | 1,75 |
| Gás Liquefeito de Petróleo | 1,10 | 1,10 |

3.8 Perdas térmicas nas tubulações

Nas análises comparativas de consumo de energia entre os

diferentes sistemas, descritas nas seções anteriores, foi considerado o uso de isolante térmico em todos os sistemas que possuem tubulações de água quente. Alguns sistemas foram simulados também considerando que não há isolamento térmico, para analisar a influência do isolante no desempenho do sistema:

- Aquecimento a gás individual na residência unifamiliar;
- Aquecimento solar com chuveiro elétrico na residência unifamiliar;
- Aquecimento solar com apoio a gás nos edifícios multifamiliares.

Além do consumo de energia, foram obtidas nas simulações as temperaturas da água em diversos pontos do circuito. Para verificar a influência do uso do isolante térmico no desempenho térmico do sistema de distribuição de água quente, as temperaturas na saída da tubulação dos sistemas com e sem isolante foram comparadas. Para os edifícios multifamiliares, analisaram-se as temperaturas na saída do tubo no primeiro e no último pavimento.

Para o sistema com aquecedor a gás individual, verificou-se a variação ao longo do dia da temperatura da água no ponto final do tubo, para averiguar se o isolante é suficiente para manter a água na temperatura desejada e evitar o descarte de água fria até a chegada da água quente quando o chuveiro é acionado. As temperaturas no momento do banho também foram comparadas, para verificar a redução na temperatura da água de banho causada pelas perdas térmicas nos tubos, e o impacto do uso do isolante térmico nesta redução da temperatura.

Para os casos em que o uso do isolante térmico resultou em uma diferença no consumo de energia, a comparação do consumo anual de energia final (eletricidade ou gás) foi realizada.

3.9 Consumo de água

As simulações fornecem o consumo mensal de água de cada sistema analisado, a partir das vazões indicadas para os chuveiros. No entanto, os resultados das simulações referem-se apenas ao consumo de água no período estipulado de duração do banho. O EnergyPlus não calcula o volume de água fria que é descartada até a chegada da água quente no momento em que o chuveiro é acionado.

Para estimar o volume de água que é desperdiçado no início do banho, foi calculada a quantidade de água nas tubulações entre o

aquecedor e o chuveiro mais distante, supondo que toda a água estagnada nas tubulações esteja fria e seja eliminada. O volume de água na tubulação é calculado pela Equação 4.

$$V = l \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Onde:

V é o volume de água nas tubulações (m³);

l é o comprimento da tubulação (m);

d é o diâmetro interno da tubulação (m).

Esta estimativa foi realizada apenas para um banho e somente para os casos mais críticos, ou seja, os chuveiros mais distantes do aquecedor. Os resultados não foram extrapolados para os outros banhos e chuveiros para verificação do aumento no consumo anual de água, porque este descarte não acontece necessariamente em todos os banhos. Quando ocorrem banhos seguidos, a água pode estar em uma temperatura próxima à desejada, e não ser eliminada. Outras situações que podem levar a um desperdício de água não foram consideradas na análise, como, por exemplo, o uso de válvulas anti-congelamento em sistemas de aquecimento solar.

3.10 Análise de custos

Neste trabalho, foi desenvolvida também uma análise de custos para cada sistema simulado. Por meio dela é possível averiguar, pela comparação entre os diferentes sistemas, qual é o mais viável economicamente.

3.10.1 Custo de instalação

Inicialmente, o custo de instalação de cada sistema foi estimado. Para isso, as quantidades e preços de materiais, equipamentos e mão-de-obra foram levantados. Para todos os casos, considerou-se que as instalações são realizadas em obras novas.

Os componentes considerados em cada sistema estão apresentados no Apêndice E. De forma geral, para o chuveiro elétrico, o custo inicial corresponde apenas à aquisição e instalação do chuveiro. Para os sistemas a gás, o custo inicial inclui os custos dos aquecedores, tubulações de água quente e isolamento térmico, nos casos em que esse último foi considerado. Para os sistemas solares, consideram-se os

custos dos coletores, dos reservatórios, das tubulações e de seu isolamento.

Os preços foram obtidos preferencialmente no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (IBGE; CAIXA, 2015), para cada estado do país considerado neste trabalho. Buscou-se utilizar preferencialmente os custos de composições das tabelas sem desoneração do SINAPI. Quando alguma composição não estava listada na tabela de composições SINAPI, optou-se por utilizar os equipamentos, materiais e valor de mão-de-obra da tabela de insumos do SINAPI. Para os insumos que não constavam nesse banco de dados, pesquisaram-se os preços em lojas com atuação no mercado de abrangência nacional, considerando o mesmo preço para as cinco cidades analisadas neste estudo.

É importante ressaltar que a análise dos custos iniciais foi realizada com base em estimativas de custos. Por não haver um projeto detalhado, as quantidades de materiais como tubos, isolamento térmico e registros foram estimadas com base nos circuitos considerados nas simulações. Além disso, não foi possível encontrar os preços de todos os insumos e composições com as características idênticas às consideradas nas simulações, e foram considerados valores aproximados, conforme indicação no Apêndice E. Como os preços de insumos da construção civil no mercado sofrem variações com o tempo, acredita-se que esta estimativa é suficiente para uma análise geral.

3.10.2 Custo de operação

O custo anual de operação de cada sistema considerado neste estudo foi calculado, e engloba os gastos de eletricidade, de gás e de água, conforme aplicável em cada caso. Para o aquecimento solar de água na residência unifamiliar, foram simulados banhos de manhã e à noite. Na análise de custos, apenas os cenários com banhos de manhã foram considerados, pois representam o maior consumo de energia.

Os consumos de cada item, obtidos nas simulações, foram multiplicados pelas tarifas de cada localidade. Foram adotadas as tarifas de energia elétrica para o setor residencial vigentes em cada cidade, obtidas no site da ANEEL (2015). Para o gás liquefeito de petróleo, considerou-se o preço do quilograma de gás disponível nas tabelas de insumos do SINAPI, considerando o poder calorífico do gás como 13,37 kWh/kg. As tarifas de água foram obtidas nas páginas das concessionárias de cada cidade (SANEPAR, 2015; SABESP, 2015; CAESB, 2015; EMBASA, 2015; COSANPA, 2015). Adotaram-se os

valores relativos à tarifa residencial normal e consumo na faixa de 11 a 20 m³ por mês.

Para avaliar qual sistema é mais barato durante a fase de operação, foi realizada inicialmente a comparação dos custos de operação considerando o período de um ano. Posteriormente, estes custos foram incluídos na análise de custo global, descrita na seção 3.10.3.

3.10.3 Custo global

Foi realizado o cálculo do valor total estimado a ser desembolsado pelo usuário ao longo de toda a vida útil do sistema. A análise do custo global do sistema de aquecimento de água engloba os custos de instalação, de operação, e os de eventuais reposições de equipamentos (Equação 5). Custos de manutenção, periódicas ou eventuais, não foram considerados na análise.

$$C_G = C_I + \sum C_R + C_O \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

C_G é o custo global durante a vida útil (R\$);

C_I é o custo inicial de instalação (R\$);

C_R é o custo de reposição de equipamentos durante a vida útil (R\$);

C_O é o custo total de operação durante a vida útil (R\$).

O período considerado na análise foi de vinte anos, como utilizado nas pesquisas de Taborianski (2002) e Hang et al. (2012). A vida útil dos componentes foi determinada de acordo com Taborianski (2002), que considerou que as tubulações de água quente, coletores solares, reservatórios e aquecedores a gás têm a mesma vida útil do sistema. Os chuveiros elétricos têm vida útil menor, devendo ser substituídos ao longo do período analisado. Neste trabalho, foi considerado que o chuveiro elétrico é trocado a cada cinco anos.

O custo de reposição do chuveiro elétrico foi calculado conforme a Equação 6, considerando o preço de instalação do chuveiro elétrico e a inflação no período considerado (5, 10 e 15 anos). Para os sistemas sem chuveiro elétrico, o custo de reposição durante a vida útil foi considerado nulo.

$$C_R = C_{Ri} \times (1 + i)^n \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

C_R é o custo de reposição de equipamentos no período considerado (R\$);

C_{Ri} é o custo de reposição no valor atual (R\$);

i é a taxa de inflação (%);

n é o número de anos.

O custo total de operação durante a vida útil foi calculado somando-se o custo operação anual, calculado conforme descrito na seção 3.10.2, durante um período de 20 anos. A cada ano, foi considerado que o custo de operação aumenta com a taxa de inflação. O custo de operação total é dado pela Equação 7.

$$C_O = C_{Oi} \times \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

C_O é o custo total de operação ao longo da vida útil (R\$);

C_{Oi} é o custo anual de operação no valor atual (R\$);

i é a taxa de inflação (%);

n é o número de anos.

A taxa de inflação adotada foi de 7,24% ao ano, que corresponde ao IPCA médio de 1995 a 2015 (PORTAL BRASIL, 2015). Essa variação foi adotada para todos os parâmetros avaliados (custo de água, de eletricidade, de gás e de reposição do chuveiro elétrico). A variação das tarifas de eletricidade no Brasil nos últimos anos (ANEEL, 2015) não acompanhou a inflação, havendo reduções e aumentos da tarifa por questões políticas e devido às crises hídrica e energética. A previsão de um cenário futuro de longo prazo, com base no cenário econômico e energético atual do Brasil, é bastante complexa e não está incluída no escopo deste trabalho. Por isso, optou-se por considerar a inflação média dos últimos 20 anos para todos os casos.

3.10.4 Análise de investimento

Foi verificada a viabilidade econômica de sistemas que apresentam um maior custo de instalação, mas levam a uma economia no custo de operação, em relação a um sistema de configuração semelhante. Esta análise foi feita apenas para alguns casos, não sendo

aplicável para comparação entre sistemas que apresentam maior custo de instalação e de operação do que outro.

Foi calculado o *payback* descontado, que corresponde ao número de anos necessários para que o investidor recupere o investimento inicial. Essa recuperação do investimento se dá pela economia durante a operação em relação a outro sistema, ou seja, a diferença no custo de operação destes dois sistemas. O custo de investimento foi considerado como sendo a diferença entre os custos de instalação dos dois sistemas comparados.

A análise de *payback* descontado considera o valor do dinheiro no tempo, e é calculado com base nos valores presentes do fluxo de caixa. A taxa de remuneração considerada para o cálculo foi de 14,15% ao ano, que corresponde à taxa SELIC de setembro de 2015 (BANCO CENTRAL, 2015).

Calculou-se também a taxa interna de retorno (TIR), que é a taxa pela qual o valor presente líquido de um projeto é zero. Um projeto é considerado viável quando a TIR é maior do que a taxa de remuneração do investidor.

3.11 Comparação com o nível de eficiência segundo o RTQ-R

Na etiquetagem de eficiência energética de edificações residenciais, o sistema de aquecimento de água de uma unidade habitacional pode ser classificado do nível A (mais eficiente) ao nível E (menos eficiente). A classificação do nível de eficiência é dada pela avaliação de requisitos e pré-requisitos, definidos no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (INMETRO, 2012).

Conforme detalhado na seção 3.4, os sistemas de aquecimento de água foram dimensionados para atender o nível A de eficiência energética segundo o RTQ-R (INMETRO, 2012), com exceção do chuveiro elétrico, que pode ser classificado no máximo como nível D. Foi realizada uma comparação entre o consumo anual de energia primária, obtido nas simulações computacionais, com o nível de eficiência do sistema. O esperado é que os sistemas classificados como mais eficientes apresentem o menor consumo de energia primária. No entanto, como foram simulados parâmetros que não são considerados pela avaliação do RTQ-R, esta premissa pode não ser verdadeira.

A seguir são descritos os requisitos e pré-requisitos para classificação do sistema de aquecimento de água, segundo o RTQ-R.

3.11.1 Sistema de aquecimento solar

Como pré-requisito para o nível A, os coletores solares devem possuir etiqueta do Inmetro nível A ou B, e os reservatórios devem possuir Selo Procel. Reservatórios com volumes superiores aos etiquetados pelo Inmetro devem ter desempenho igual ou superior ao reservatório com maior volume etiquetado pelo Inmetro.

A classificação é dada pela fração solar, sendo que o sistema obtém o nível A se a fração solar for igual ou maior que 70%. A fração solar foi calculada para cada caso conforme procedimento de cálculo descrito no Anexo B. Para obter o nível A, é necessário ainda que o volume de armazenamento seja de 50 a 150 litros/m² de coletor.

3.11.2 Sistema de aquecimento a gás

Para aquecedores a gás etiquetados, o nível de eficiência é dado pelo nível da etiqueta do Inmetro para o equipamento, desde que a potência e o volume estejam dentro de uma variação de 20% para maiores ou para menos do dimensionamento, descrito na seção 3.4.2 e no Anexo A.

3.11.3 Chuveiro elétrico

Chuveiros elétricos recebem a seguinte classificação:

- Aparelhos com potência igual ou menor a 4.600 W: Nível D
- Aparelhos com potência maior que 4.600 W: Nível E.

3.11.4 Determinação do nível de eficiência do sistema de aquecimento de água

Se a unidade habitacional possui aquecimento solar combinado com gás, o sistema é classificado com o maior dos níveis obtidos na avaliação de cada sistema. Para aquecimento solar com apoio elétrico, o nível de eficiência será o do aquecimento solar, desde que a fração solar seja de no mínimo 70%. Para os demais casos, o nível de eficiência é dado pela ponderação dos equivalentes numéricos dos níveis de cada sistema pela demanda de cada um deles.

Como pré-requisito, o RTQ-R exige que as tubulações de água quente sejam apropriadas para este fim, e que reservatórios em sistemas que não sejam de aquecimento solar tenham resistência térmica mínima

de 2,20 (mK)/W. Para obter os níveis A e B, as tubulações não metálicas de água quente devem possuir isolamento térmico de 1,0 cm de espessura com condutividade térmica entre 0,032 e 0,040 W/mK.

4 Resultados

Neste capítulo, são apresentadas as características dos sistemas dimensionados, os resultados obtidos nas simulações de cada sistema e a comparação entre eles.

Os resultados referentes ao consumo de energia final (seção 4.2) e primária (seção 4.3) das residências unifamiliares foram agrupados conforme o nível de conforto de banho, já que a vazão dos chuveiros e, consequentemente, o volume de água aquecido, são diferentes. Assim, para um mesmo consumo diário de água quente, é possível comparar os sistemas e averiguar qual consome menos energia. Para a residência multifamiliar, o consumo de energia final foi dividido conforme a fonte de energia utilizada.

As comparações do consumo de energia apresentadas nas seções 4.2 e 4.3 consideram que os sistemas atendem aos pré-requisitos do RTQ-R, ou seja, todos os sistemas com tubulações de água quente possuem isolamento térmico nas tubulações. A comparação do desempenho dos sistemas com e sem isolamento térmico é apresentada na seção 4.4. A análise do consumo de água nos diferentes sistemas é mostrada na seção 4.5.

Na seção 4.6, são apresentados os resultados da análise de custos dos diferentes sistemas estudados. Na seção 4.7, os resultados encontrados são comparados com os níveis de eficiência, segundo o RTQ-R (INMETRO, 2012).

4.1 Dimensionamento dos sistemas

4.1.1 Chuveiro elétrico

O dimensionamento dos chuveiros elétricos para cada cidade encontra-se na Tabela 15. Foram adotadas potências correspondentes a chuveiros elétricos existentes no mercado, considerando um rendimento de 95%. Percebe-se que quanto maior a diferença entre a temperatura da água fria e a temperatura de banho desejada, maior é a potência necessária. Portanto, para cidades frias, como Curitiba, é preciso um chuveiro de maior potência para aquecer a água à temperatura desejada do que para cidades quentes, como Salvador e Belém.

Tabela 15 – Dimensionamento do chuveiro elétrico

| Cidade | Temperatura do ar (°C) | Temperatura da água fria (°C) | Temperatura da água do banho (°C) | Vazão (l/min) | Potência útil (kW) | Potência nominal (kW) | Potência nominal adotada (kW) |
|-----------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Curitiba | 12,9 | 10,9 | 40 | 3 | 6,1 | 6,4 | 6,5 |
| São Paulo | 15,8 | 13,8 | 40 | 3 | 5,5 | 5,8 | 5,8 |
| Brasília | 18,3 | 16,3 | 40 | 3 | 5,0 | 5,2 | 5,2 |
| Salvador | 23,6 | 21,6 | 38 | 3 | 3,4 | 3,6 | 3,7 |
| Belém | 25,4 | 23,4 | 38 | 3 | 3,1 | 3,2 | 3,2 |

4.1.2 Aquecedor a gás

4.1.2.1 Aquecedor a gás instantâneo

A Tabela 16 apresenta o dimensionamento dos sistemas privados a gás. As temperaturas da água fria e da água de banho foram consideradas iguais ao dimensionamento dos chuveiros elétricos. Foram escolhidos na tabela do Inmetro (2015a) aquecedores cuja potência útil atende à mínima calculada.

Da mesma forma que para os chuveiros elétricos, quanto maior a diferença entre a temperatura da água fria e da água de banho, maior é a potência. Como a vazão das duchas consideradas no sistema de aquecimento a gás é maior do que a vazão dos chuveiros elétricos, a potência útil calculada também foi maior.

Tabela 16 – Dimensionamento do aquecedor a gás instantâneo individual

| Cidade | Vazão (l/min) | Potência útil calculada (kW) | Potência nominal adotada (kW) | Rendimento do aquecedor adotado (%) | Potência útil adotada (kW) |
|-----------|---------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Curitiba | 12 | 24,4 | 30,9 | 85 | 26,3 |
| São Paulo | 12 | 21,9 | 27,0 | 84 | 22,7 |
| Brasília | 12 | 19,8 | 25,1 | 84 | 21,1 |
| Salvador | 12 | 13,7 | 18,8 | 84 | 15,8 |
| Belém | 12 | 12,2 | 17,9 | 84 | 15,0 |

4.1.2.2 Sistema central a gás

A Tabela 17 apresenta o dimensionamento do sistema a gás coletivo para edificação de quatro pavimentos. O edifício possui 16 chuveiros de 12 litros/min, cada um sendo usado em 3 banhos de 10 minutos por dia, o que resulta em um consumo diário de 5.760 litros de água.

O dimensionamento é realizado conforme o procedimento de

cálculo descrito no Anexo A, em que se calcula o volume de consumo diário corrigido para temperatura de armazenamento, o volume no horário de pico, o fator de armazenamento e o volume mínimo do reservatório. Como o fator de armazenamento é determinado pelo volume de pico, para Curitiba o volume de armazenamento calculado foi menor do que para as outras cidades. Por ser uma cidade mais fria e com maior demanda de água quente, foi considerado o mesmo volume de reservatório das outras cidades. Adotando-se a mesma capacidade dos reservatórios, a potência calculada é maior para as cidades frias e menor para as cidades de clima quente.

Tabela 17 – Dimensionamento do sistema de aquecimento a gás coletivo do edifício de quatro pavimentos

| Cidade | Volume corrigido (l) | Volume de pico (l) | Fator de armazenamento | Volume de armazenamento (l) | | Potência útil (kW) | | Rendimento adotado (%) |
|-----------|----------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|---------|--------------------|---------|------------------------|
| | | | | Calculado | Adotado | Calculada | Adotada | |
| Curitiba | 4.915,4 | 1.550 | 0,25 | 387,5 | 500 | 41,6 | 42,0 | 84 |
| São Paulo | 4.836,9 | 1.500 | 0,33 | 500,0 | 500 | 36,3 | 37,0 | 86 |
| Brasília | 4.756,5 | 1.500 | 0,33 | 500,0 | 500 | 33,4 | 34,1 | 86 |
| Salvador | 4.414,2 | 1.400 | 0,33 | 466,7 | 500 | 22,4 | 22,7 | 84 |
| Belém | 4.290,6 | 1.400 | 0,33 | 466,7 | 500 | 20,5 | 21,0 | 84 |

Na Tabela 18, são apresentados os dimensionamentos do sistema coletivo a gás para o edifício residencial de doze pavimentos. Neste edifício, consideraram-se 48 chuveiros com 3 banhos diários de 10 minutos, totalizando 17.280 litros de água quente consumidos por dia. Para Salvador e Belém, que possuem menor demanda de água quente, o volume de armazenamento obtido é menor do que para as outras cidades.

Tabela 18 – Dimensionamento do sistema de aquecimento a gás coletivo do edifício de doze pavimentos

| Cidade | Volume corrigido (l) | Volume de pico (l) | Fator de armazenamento | Volume armazenamento (l) | | Potência útil (kW) | | Rendimento adotado (%) |
|-----------|----------------------|--------------------|------------------------|--------------------------|---------|--------------------|---------|------------------------|
| | | | | Calculado | Adotado | Calculada | Adotada | |
| Curitiba | 14.746,3 | 3.100 | 0,25 | 775 | 800 | 91,2 | 92,4 | 84 |
| São Paulo | 14.510,8 | 3.000 | 0,25 | 750 | 800 | 79,8 | 81,1 | 84 |
| Brasília | 14.269,5 | 2.900 | 0,25 | 725 | 800 | 70,1 | 71,6 | 84 |
| Salvador | 12.110,8 | 2.350 | 0,25 | 588 | 600 | 47,6 | 48,5 | 85 |
| Belém | 11.680,0 | 2.200 | 0,25 | 550 | 600 | 40,2 | 41,6 | 84 |

No método apresentado pela NBR 16057 (ABNT, 2012) e no RTQ-R (INMETRO, 2012), quanto maior o volume de armazenamento

adotado, menor será o volume de recuperação e, consequentemente, menor a potência útil calculada no dimensionamento. A metodologia reduz o volume de cálculo considerando fatores de simultaneidade e fatores de armazenamento, fazendo com que o volume do reservatório seja menor do que o consumo previsto para o horário de pico, e bem inferior ao consumo diário de água quente. Se o uso da água quente for concentrado em um único momento do dia, o sistema pode não atender à demanda. Como a norma indica o volume mínimo do reservatório, caso o projetista opte por um reservatório de capacidade maior, a potência calculada para o aquecedor será menor.

4.1.3 Aquecimento solar

4.1.3.1 Residência unifamiliar

A Tabela 19 apresenta os parâmetros considerados para o dimensionamento do sistema de aquecimento solar complementado por chuveiro elétrico, e a fração solar anual obtida. Para o reservatório, o volume calculado para todas as cidades é inferior ao menor volume dos reservatórios que constam nas tabelas do Inmetro. Por isso, foi adotada a menor capacidade dentre os reservatórios etiquetados disponíveis no mercado, de 200 litros. Foram escolhidos coletores com ENCE A, com fator de eficiência óptica ($F_R(\tau\alpha)$), coeficiente global de perdas ($F_R U_L$) e área necessários para atingir uma fração solar mínima de 70%.

Percebe-se que a maior área de coletores calculada foi para a cidade de Curitiba, de clima mais frio. Salvador e Belém, que possuem clima quente, necessitam de metade da área coletora de Curitiba.

Tabela 19 – Dimensionamento do sistema de aquecimento solar para edificação unifamiliar, considerando chuveiro elétrico como aquecimento auxiliar

| Parâmetros | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
|---------------------------------------|----------|-----------|----------|----------|-------|
| Consumo diário calculado (l) | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Consumo diário adotado (l) | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Temperatura de consumo (°C) | 40 | 40 | 40 | 38 | 38 |
| Temperatura armazenamento (°C) | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Volume de armazenamento calculado (l) | 107 | 102 | 99 | 73 | 71 |
| Volume de armazenamento adotado (l) | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Inclinação dos coletores | 35° | 33° | 25° | 23° | 11° |
| $F_R(\tau\alpha)$ (adimensional) | 0,77 | 0,77 | 0,75 | 0,73 | 0,73 |
| $F_R U_L$ (kW/(m².K)) | 4,27 | 4,27 | 6,07 | 4,41 | 4,41 |
| Área do coletor (m²) | 1,00 | 1,61 | 1,59 | 1,00 | 1,00 |
| Quantidade de coletores | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Área total (m²) | 2,00 | 1,61 | 1,59 | 1,00 | 1,00 |
| Fração Solar (%) | 71 | 70 | 74 | 70 | 70 |

Para o sistema com resistência elétrica no reservatório, foi considerado o uso de chuveiros de 12 litros por minuto. Considerando um banho por dia por morador, o consumo diário de água quente na residência é de 360 litros, valor maior do que o mínimo estabelecido no RTQ-R. A Tabela 20 apresenta os parâmetros considerados no dimensionamento do sistema solar com *backup* por resistência elétrica no reservatório, e as frações solares obtidas para cada cidade, considerando a temperatura de armazenamento de 60°C.

A área de coletores calculada para este sistema é maior do que para o sistema com chuveiro elétrico porque, devido à maior vazão do chuveiro, o volume de água a ser aquecido diariamente é maior. Além disso, o sistema foi dimensionado para armazenar a água a 60°C, havendo maior necessidade de captação da energia solar.

Tabela 20 – Dimensionamento do sistema de aquecimento solar para edificação unifamiliar, considerando resistência elétrica no reservatório e temperatura de armazenamento de 60°C

| Parâmetros | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
|---------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Consumo diário calculado (l) | 360 | 360 | 360 | 360 | 360 |
| Consumo diário adotado (l) | 360 | 360 | 360 | 360 | 360 |
| Temperatura de consumo (°C) | 40 | 40 | 40 | 38 | 38 |
| Temperatura armazenamento (°C) | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Volume de armazenamento calculado (l) | 193 | 183 | 177 | 132 | 128 |
| Volume de armazenamento adotado (l) | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Inclinação dos coletores | 35° | 33° | 25° | 23° | 11° |
| FR($\tau\alpha$) (adimensional) | 0,77 | 0,77 | 0,75 | 0,73 | 0,73 |
| F _{RUL} (kW/(m².K)) | 4,27 | 4,27 | 6,07 | 4,41 | 4,41 |
| Área do coletor (m²) | 1,00 | 1,61 | 1,59 | 1,00 | 1,00 |
| Quantidade de coletores | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Área total (m²) | 4,00 | 3,22 | 3,18 | 2,00 | 2,00 |
| Fração Solar (%) | 73 | 72 | 75 | 73 | 73 |

Para o dimensionamento do sistema com temperatura de armazenamento de 45°C, a área de coletores e suas características técnicas indicadas na Tabela 20 não sofreram alterações. A Tabela 21 apresenta o volume de reservatório dimensionado considerando a temperatura de armazenamento de 45°C, e a fração solar obtida. Os demais parâmetros, como área e características técnicas dos coletores, são os mesmos indicados na Tabela 20.

Como a água é armazenada a uma temperatura próxima à temperatura de banho, é necessário que o volume de armazenamento seja maior. Quando a água é armazenada a 60°C, pode-se utilizar uma quantidade menor de água quente misturada com a água fria, para se alcançar a mesma temperatura de banho.

Tabela 21 – Dimensionamento do sistema de aquecimento solar para edificação unifamiliar, considerando resistência elétrica no reservatório e temperatura de armazenamento de 45°C

| Parâmetros | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
|---------------------------------------|----------|-----------|----------|----------|-------|
| Consumo diário adotado (l) | 360 | 360 | 360 | 360 | 360 |
| Temperatura de consumo (°C) | 40 | 40 | 40 | 38 | 38 |
| Temperatura armazenamento (°C) | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| Volume de armazenamento calculado (l) | 296 | 290 | 286 | 232 | 228 |
| Volume de armazenamento adotado (l) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Fração Solar (%) | 75 | 74 | 77 | 75 | 73 |

A potência da resistência elétrica adotada para os modelos de reservatório de 200 e de 300 litros foi de 3.500 W, conforme indicado pelo fabricante dos modelos considerados.

4.1.3.2 Residência multifamiliar

Para a residência multifamiliar, o dimensionamento foi feito considerando a temperatura de armazenamento próxima à temperatura de banho (45°C), como indicado no RTQ-R, e para chuveiros de 12 litros/min. Como a vazão dos chuveiros é igual tanto para o sistema com resistência elétrica no reservatório quanto para o sistema com apoio a gás, o dimensionamento do sistema solar é o mesmo para os dois casos. A Tabela 22 apresenta o dimensionamento para o edifício de quatro pavimentos.

Por ser um sistema coletivo, a área de coletores e o volume dos reservatórios são bem maiores do que para a residência unifamiliar. Quanto mais frio é o clima da cidade em que o edifício está localizado, maior é a área de coletores necessária para alcançar a mesma fração solar.

Tabela 22 – Dimensionamento do sistema de aquecimento solar para edificação multifamiliar de quatro pavimentos

| Parâmetros | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
|---------------------------------------|----------|-----------|----------|----------|-------|
| Fator de ocupação | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Consumo diário (l) | 5.184 | 5.184 | 5.184 | 5.184 | 5.184 |
| Temperatura de consumo (°C) | 40 | 40 | 40 | 38 | 38 |
| Temperatura armazenamento (°C) | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| Volume de armazenamento calculado (l) | 4.265 | 4.178 | 4.122 | 3.344 | 3.285 |
| Volume de armazenamento adotado (l) | 4.500 | 4.500 | 4.500 | 4.000 | 4.000 |
| Inclinação dos coletores | 35 | 33 | 25 | 23 | 11 |
| $FR(\tau\alpha)$ (adimensional) | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 |
| $F_R U_L$ (kW/(m².K)) | 4,27 | 4,27 | 4,27 | 4,27 | 4,27 |
| Área do coletor (m²) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Quantidade de coletores | 26 | 22 | 17 | 12 | 13 |
| Área total (m²) | 52 | 44 | 34 | 24 | 26 |
| Fração Solar (%) | 70 | 71 | 71 | 70 | 72 |

Para o sistema com resistência elétrica no reservatório, a potência do modelo de reservatório de 4.000 litros adotado é de 10.000 W.

O dimensionamento para a edificação de doze pavimentos encontra-se na Tabela 23. Embora o número de habitantes seja três vezes maior do que no edifício de quatro pavimentos, a área coletora calculada é aproximadamente 2,3 vezes maior. Isso porque o fator de ocupação considerado no cálculo do consumo diário de água quente varia conforme o número de apartamentos.

A resistência elétrica dos modelos de reservatórios adotados é de 15.000 W.

Tabela 23 – Dimensionamento do sistema de aquecimento solar para edificação multifamiliar de doze pavimentos

| Parâmetros | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
|---------------------------------------|----------|-----------|----------|----------|--------|
| Fator de ocupação | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Consumo diário (l) | 12.096 | 12.096 | 12.096 | 12.096 | 12.096 |
| Temperatura de consumo (°C) | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Temperatura armazenamento (°C) | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| Volume de armazenamento calculado (l) | 9.953 | 9.749 | 9.619 | 7.803 | 7.665 |
| Volume de armazenamento adotado (l) | 10.000 | 10.000 | 10.000 | 8.000 | 8.000 |
| Inclinação dos coletores | 35 | 33 | 25 | 23 | 11 |
| $FR(\tau\alpha)$ (adimensional) | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 |
| $F_R U_L$ (kW/(m².K)) | 4,27 | 4,27 | 4,27 | 4,27 | 4,27 |
| Área do coletor (m²) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Quantidade de coletores | 60 | 50 | 39 | 29 | 29 |
| Área total (m²) | 120 | 100 | 78 | 58 | 58 |
| Fração Solar (%) | 70 | 70 | 70 | 71 | 70 |

O sistema de aquecimento solar e o sistema a gás coletivo foram dimensionados independentemente, sendo que o gás foi dimensionado para atender 100% da demanda, e o solar, 70%. Embora o consumo diário de água quente usado nos dois cálculos seja o mesmo, observa-se uma grande diferença no volume de armazenamento destes dois sistemas: para o edifício de quatro pavimentos, o volume do sistema a gás é de 500 litros, enquanto do solar é de 4.000 litros. Para o de doze pavimentos, a capacidade do reservatório do aquecimento a gás é de 800 litros, e o volume calculado para o solar foi de 8.000 a 10.000 litros, dependendo da cidade. Esta diferença ocorre porque a quantidade de água aquecida pela energia solar deve atender a demanda de todo o dia, enquanto que para o sistema a gás a recuperação pode ocorrer em qualquer horário.

O volume de armazenamento adotado para o edifício de doze pavimentos é de 10.000 litros para Curitiba, São Paulo e Brasília, e de 8.000 litros para Salvador e Belém. É comum em sistemas reais de aquecimento solar de grande porte que o volume armazenado seja dividido em reservatórios de capacidade menor, com o objetivo de melhorar a estratificação e a eficiência. Nesses casos, o aquecimento auxiliar é utilizado apenas no último reservatório (KULB et al., 2013). No modelo de simulação do EnergyPlus, foi possível considerar apenas dois reservatórios no circuito. Para o sistema com apoio elétrico, o volume de armazenamento foi dividido em dois reservatórios de igual volume, com a resistência elétrica no último reservatório. Para o sistema com apoio a gás, optou-se por considerar o segundo reservatório com 1.000 litros, pouco maior do que o volume dimensionado para o aquecimento a gás. Para o primeiro reservatório, considerou-se um volume de 6.000 litros, por ser o maior reservatório encontrado dentre os fabricantes consultados. Embora o volume total neste caso seja menor do que o dimensionado para o sistema solar optou-se por essa configuração para não considerar um volume muito alto para o sistema a gás, o que influenciaria na potência do sistema. Sabe-se que na prática o volume total dimensionado poderia ser dividido em reservatórios menores, mas dentro das limitações do programa de simulação, acredita-se que a solução adotada no modelo foi a mais adequada.

4.2 Análise do consumo de energia final

4.2.1 Edificação unifamiliar

4.2.1.1 Sistemas com chuveiro elétrico (3,0 litros por minuto)

Nesta seção, são apresentados os consumos mensais de energia final dos sistemas que possuem chuveiro com vazão de 3,0 litros por minuto: chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico (Figuras 22 a 26). Para esses sistemas, o consumo de energia final corresponde ao consumo de eletricidade.

Para as cidades de Curitiba, São Paulo e Brasília, em que há significativa variação das temperaturas do ar ao longo do ano e que foram consideradas temperaturas de banho diferentes conforme a estação do ano, percebe-se um consumo de energia maior nos meses de inverno. Para as cidades de Salvador e Belém, onde as condições climáticas são mais constantes, não há variação significativa no consumo ao longo do ano.

Para o sistema de aquecimento solar, em todas as cidades analisadas, percebe-se que o consumo de energia elétrica é menor quando os banhos ocorrem à noite. Nesses casos, a água é aquecida pelos coletores durante o dia, e em seguida é utilizada. Quando os banhos ocorrem pela manhã, a água no reservatório perde calor para o ambiente durante a noite, e chega a uma temperatura menor no chuveiro elétrico, necessitando de mais energia para alcançar a temperatura de banho desejada.

Nas cidades de clima mais quente, principalmente Salvador e Belém, observa-se que o sistema solar consegue suprir praticamente toda a demanda de água quente, devido a temperaturas mais altas da água fria, menos perdas de calor da água armazenada no reservatório devido à temperatura ambiente mais alta, e porque a temperatura de banho estabelecida é mais baixa.

Figura 22 – Consumo de energia elétrica dos sistemas com chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico, para a residência unifamiliar em Curitiba

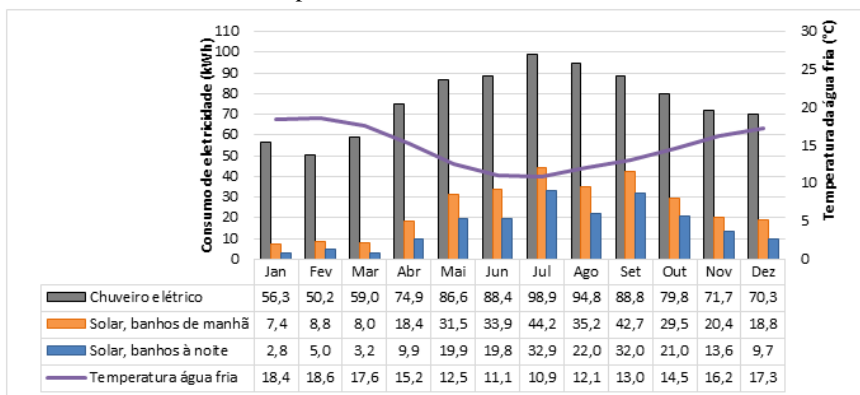


Figura 23 – Consumo de energia elétrica dos sistemas com chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico, para a residência unifamiliar em São Paulo.

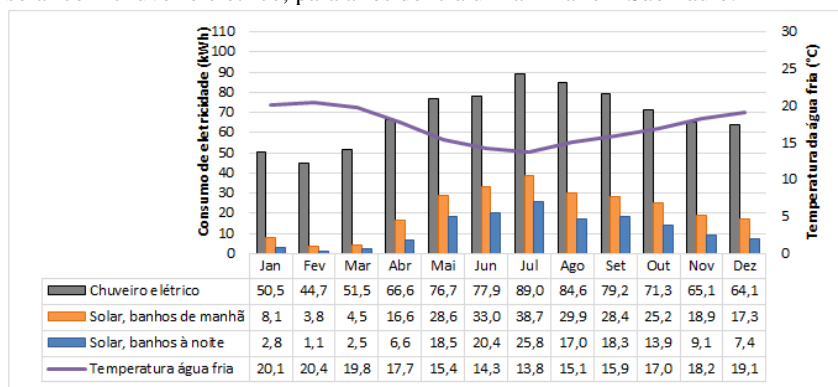


Figura 24 – Consumo de energia elétrica dos sistemas com chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico, para a residência unifamiliar em Brasília

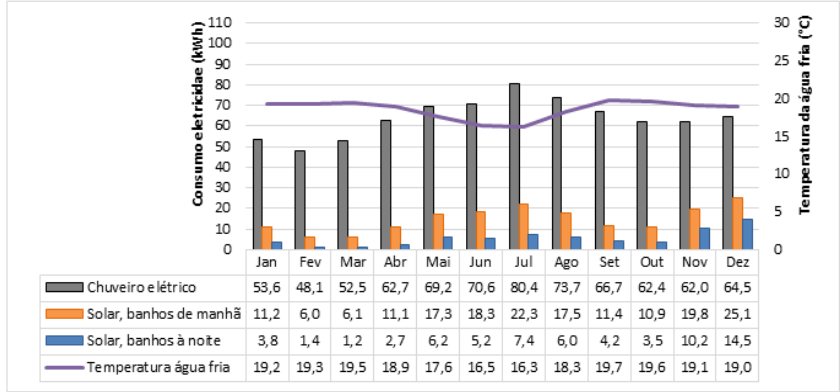


Figura 25 – Consumo de energia elétrica dos sistemas com chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico, para a residência unifamiliar em Salvador

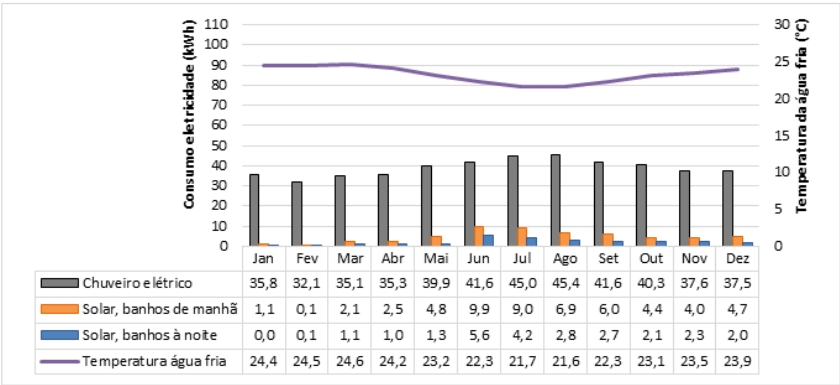
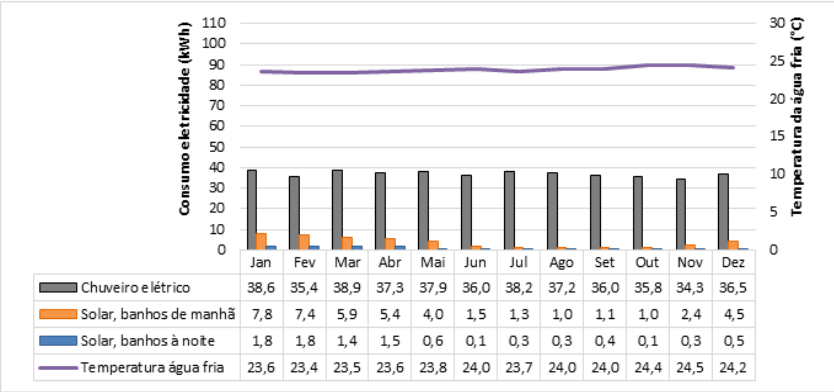


Figura 26 – Consumo de energia elétrica dos sistemas com chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico, para a residência unifamiliar em Belém.



A economia anual de energia elétrica obtida com a utilização de aquecimento solar para pré-aquecimento da água, em relação a uma residência que possui apenas chuveiro elétrico, é apresentada na Tabela 24, para cada cidade analisada. Observa-se que nos casos em que o banho ocorre à noite, e em todos os casos nas cidades de clima quente, a economia anual é maior do que a fração solar calculada no dimensionamento. Para Belém e Salvador, o aquecimento solar consegue atender quase que completamente a demanda de aquecimento de água, principalmente se os banhos ocorrem ao fim do dia.

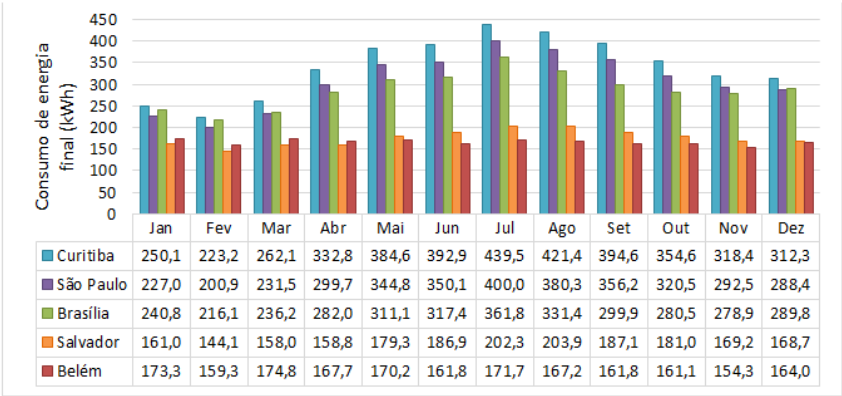
Tabela 24 – Comparação do consumo anual de energia elétrica da residência unifamiliar com chuveiro elétrico e com aquecimento solar com chuveiro elétrico

| Cidade | Chuveiro elétrico | Solar, banhos de manhã | | Solar, banhos à noite | | Fração solar calculada (%) |
|-----------|---------------------|------------------------|--------------|-----------------------|--------------|----------------------------|
| | Consumo anual (kWh) | Consumo anual (kWh) | Economia (%) | Consumo anual (kWh) | Economia (%) | |
| Curitiba | 919,6 | 298,8 | 68 | 191,8 | 79 | 71 |
| São Paulo | 821,2 | 253,2 | 69 | 143,3 | 83 | 70 |
| Brasília | 766,4 | 177,0 | 77 | 66,2 | 91 | 74 |
| Salvador | 467,3 | 55,5 | 88 | 25,2 | 95 | 70 |
| Belém | 442,1 | 43,4 | 90 | 9,2 | 98 | 70 |

4.2.1.2 Sistemas com chuveiro de 12,0 litros por minuto

Os consumos mensais de energia final do sistema de aquecimento a gás instantâneo das cinco cidades analisadas foram agrupados na Figura 27. Assim como para o chuveiro elétrico, nas simulações do sistema com aquecedor a gás observa-se maior consumo nos meses de inverno nas cidades mais frias, e pouca variação ao longo do ano nas cidades de clima quente. Para Curitiba, o consumo variou de 223,2 kWh em fevereiro a 439,5 kWh em julho.

Figura 27 – Consumo de energia final dos sistemas com aquecedor a gás instantâneo na residência unifamiliar



Os resultados das simulações do sistema solar com resistência elétrica no reservatório são apresentados nas Figuras 28 a 32. Para cada cidade, foram simulados banhos pela manhã e à noite, e sistemas que consideram uma temperatura de armazenamento igual à temperatura de banho (indicados nas tabelas como “ $T_{\text{armaz}} 40^{\circ}\text{C}$ ”) ou uma temperatura de armazenamento de 60°C .

Como nos casos que o aquecimento auxiliar é feito pelo chuveiro elétrico, o consumo de energia é menor quando os banhos acontecem à noite, em que é possível um melhor aproveitamento da energia solar. Os sistemas dimensionados para temperatura de reservatório de 60°C apresentam maior consumo de energia elétrica para aquecimento da água do que os sistemas em que a temperatura de armazenamento é próxima da temperatura de banho.

Figura 28 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório para residência unifamiliar em Curitiba

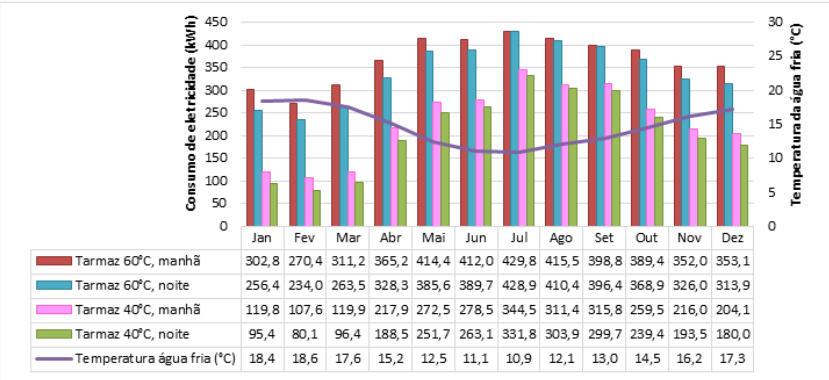


Figura 29 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório para residência unifamiliar em São Paulo

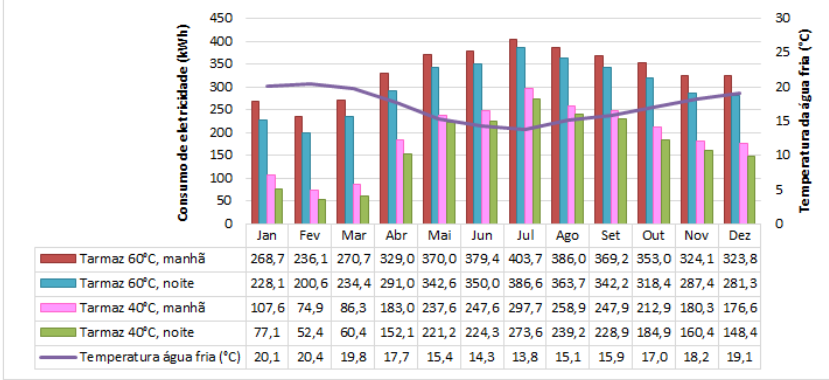


Figura 30 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório para residência unifamiliar em Brasília

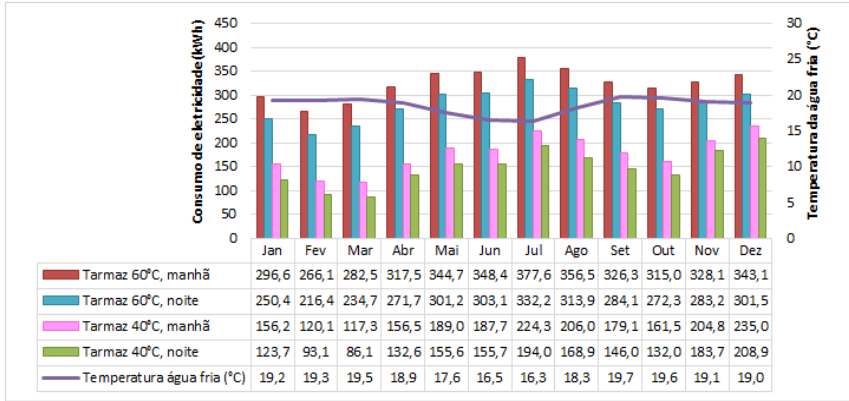


Figura 31 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório para residência unifamiliar em Salvador

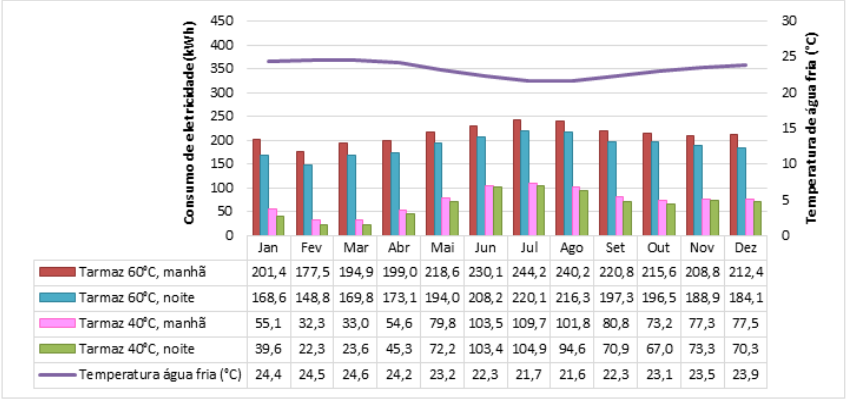
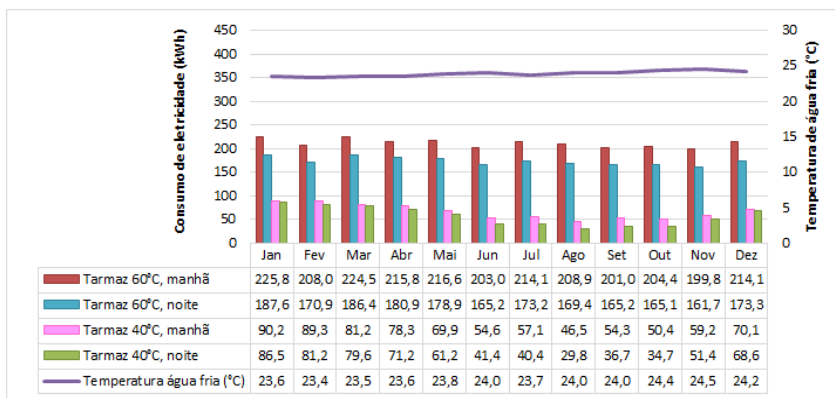


Figura 32 – Consumo de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório para residência unifamiliar em Belém

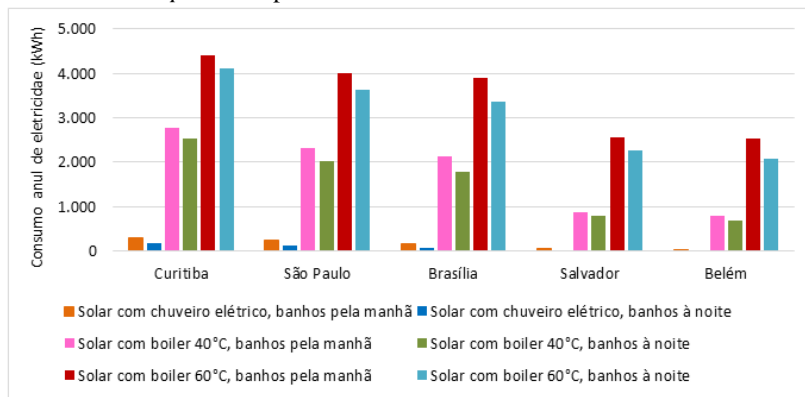


A Figura 33 apresenta o consumo anual, para cada cidade, das três configurações de sistema solar analisadas, considerando os banhos pela manhã e à noite. Observa-se um consumo expressivamente maior quando o *backup* é feito por resistência elétrica do que por chuveiro elétrico. Além da diferença na vazão dos chuveiros e, conseqüentemente, no volume de água a ser aquecido, esta grande diferença no consumo ocorre principalmente devido ao tipo de sistema. O chuveiro elétrico é um sistema instantâneo, ou seja, o consumo de energia ocorre apenas enquanto o chuveiro está ligado. Nos sistemas com a resistência elétrica no reservatório, a resistência é acionada cada vez que a temperatura do reservatório atinge um determinado valor mínimo. Ou seja, em alguns horários ocorre o consumo de eletricidade para aquecer um volume de água que não é usado. Por exemplo, se de madrugada, quando a temperatura ambiente é mais baixa, a água no reservatório atingir uma temperatura menor do que a programada no termostato, a resistência será acionada para aquecer a água em um horário que ela não será utilizada.

Programando-se o sistema para que o reservatório chegue a temperaturas de 60°C, como forma de evitar a proliferação da bactéria *Legionella*, o consumo é ainda maior (de 1,6 a 3 vezes maior do que para temperatura do reservatório próxima à temperatura de consumo, dependendo da cidade). Embora seja uma estratégia necessária por questões de saúde dos usuários, quanto ao consumo de energia o sistema fica superdimensionado, consumindo mais do que o necessário para atender a temperatura de banho.

Contudo, a contaminação por *Legionella* é um risco em sistemas abertos (diretos). Uma alternativa para evitar o problema sem consumir tanta energia é utilizar sistemas fechados (indiretos), em que a água armazenada não é a mesma que vai para o ponto de consumo, ela apenas aquece a água fria através de um trocador de calor.

Figura 33 – Consumo anual de energia elétrica dos sistemas de aquecimento solar com *backup* elétrico para residência unifamiliar



4.2.2 Edificação multifamiliar

4.2.2.1 Sistemas que utilizam energia elétrica

Nas edificações multifamiliares, foram simulados dois sistemas que utilizam energia elétrica: chuveiro elétrico, e solar com resistência elétrica no reservatório. Nas Figuras 34 a 38 são apresentados os consumos de energia final (eletricidade) destes dois sistemas para cada cidade analisada. É importante ressaltar que a vazão dos chuveiros nestes dois sistemas é diferente e, consequentemente, o volume de água a ser aquecido diariamente é diferente. Percebe-se que mesmo com essa diferença de volumes, nos meses de verão e nas cidades de clima quente, o consumo de energia elétrica para estes dois tipos de aquecimento é bastante próximo. Para os meses com temperaturas mais frias, o aquecimento solar com boiler elétrico apresentou maior consumo de energia. Isso ocorre porque nestes meses o sistema solar atende uma parcela menor da demanda de água quente, e é necessário utilizar a resistência elétrica do reservatório. Como no caso da edificação unifamiliar, o chuveiro elétrico, por ser um sistema instantâneo, só consome energia no momento que a água quente é utilizada. No sistema

de acumulação, a resistência elétrica é acionada cada vez que a temperatura do reservatório atinge uma temperatura mínima pré-determinada, o que faz com que haja o consumo de energia em horários que os chuveiros não são usados. Além disso, nos dias mais frios, as perdas térmicas nos reservatórios e tubulações são maiores. Essas perdas não ocorrem no sistema com chuveiro elétrico, visto que a água é aquecida diretamente nos pontos de consumo.

Figura 34 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade, para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba.

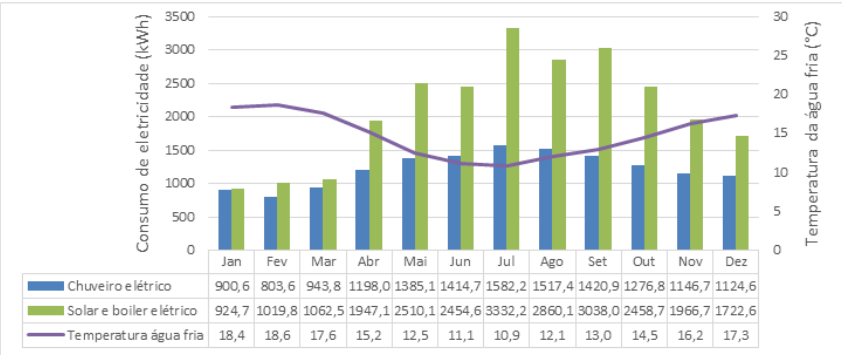


Figura 35 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade, para residência multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo

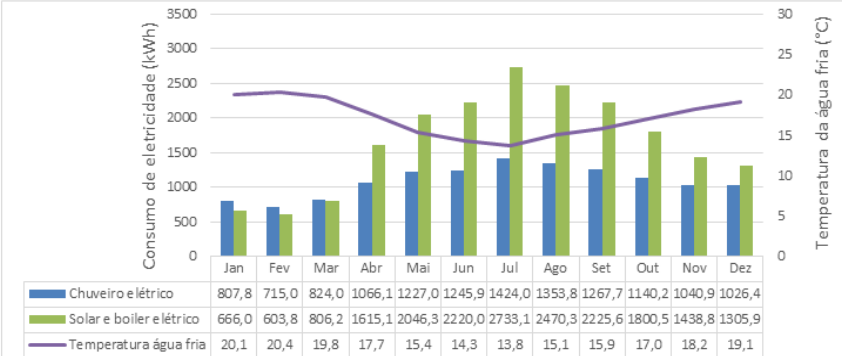


Figura 36 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade, para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília

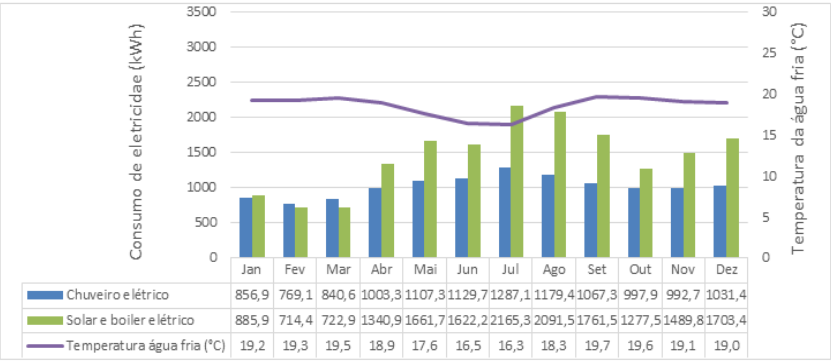


Figura 37 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade, para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Salvador

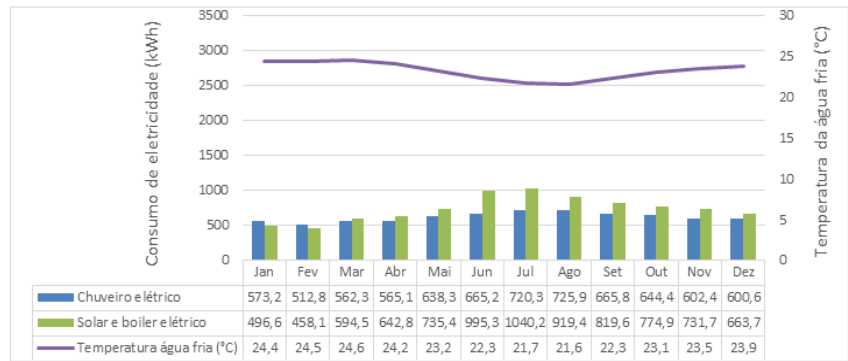
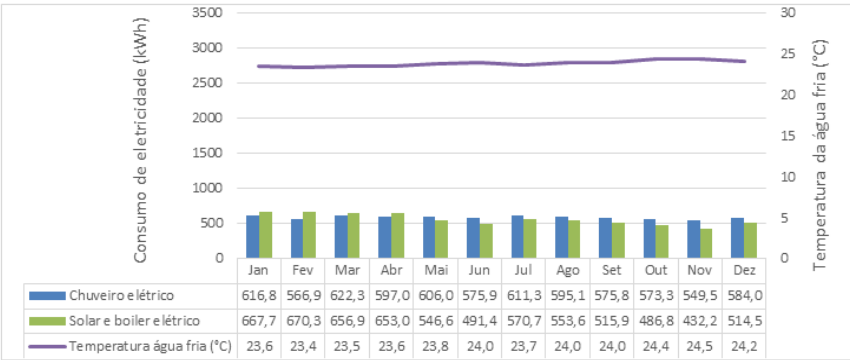


Figura 38 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade, para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Belém



No Apêndice A, são apresentados os resultados para o edifício de doze pavimentos. O aquecimento solar com boiler elétrico apresentou consumo de energia maior do que o chuveiro elétrico em todos os casos, sendo que a diferença nos consumos mensais dos dois sistemas analisados é mais significativa do que para o edifício de quatro pavimentos. Por ser um sistema de maior porte, o sistema centralizado apresenta maiores perdas térmicas, o que leva a um maior consumo de energia.

A Tabela 25 apresenta o consumo anual de energia elétrica para os sistemas de aquecimento que utilizam eletricidade. Para Curitiba, São Paulo, Brasília e Salvador, o sistema central leva a um maior consumo de energia, sendo que para as cidades de clima mais frio, a diferença no consumo é maior. Para Belém, o sistema solar no edifício de quatro pavimentos apresentou um consumo anual de energia menor do que quando é usado o chuveiro elétrico, mesmo com um volume de água maior aquecido diariamente. Conclui-se que as condições climáticas de Belém são favoráveis à utilização da energia solar para aquecimento de água.

Para o edifício de doze pavimentos, o aquecimento solar apresentou consumo de energia maior do que o chuveiro elétrico em todos os casos, chegando a quase o dobro do consumo em Curitiba. As perdas térmicas no armazenamento e distribuição da água quente interferem mais no desempenho de sistemas coletivos de grande porte do que de sistemas menores. Em locais de clima frio, as perdas térmicas têm impacto ainda maior na eficiência do sistema.

Tabela 25 – Comparação do consumo anual de eletricidade das residências multifamiliares com chuveiro elétrico e com aquecimento central solar com boiler elétrico

| Edifício | Cidade | Consumo anual de energia final (kWh) | | Diferença no consumo (%) |
|-------------------|-----------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | | Chuveiro elétrico | Solar e boiler elétrico | |
| Quatro pavimentos | Curitiba | 14.714,3 | 25.297,0 | 72 |
| | São Paulo | 13.138,8 | 19.931,6 | 52 |
| | Brasília | 12.262,9 | 17.437,0 | 42 |
| | Salvador | 7.476,5 | 8.872,1 | 19 |
| | Belém | 7.073,8 | 6.759,6 | -4 |
| Doze pavimentos | Curitiba | 44.143,0 | 84.623,7 | 92 |
| | São Paulo | 39.416,5 | 72.683,3 | 84 |
| | Brasília | 36.788,8 | 67.756,6 | 84 |
| | Salvador | 22.429,4 | 38.979,4 | 74 |
| | Belém | 21.221,3 | 34.909,5 | 65 |

Muitas políticas incentivam o uso do aquecimento solar ao invés de chuveiros elétricos, como uma alternativa para reduzir o consumo de energia. Percebe-se que em alguns casos essa escolha pode ser realmente mais eficiente. No entanto, a utilização de um sistema central com chuveiros com maior vazão faz com que o volume diário de água quente a ser aquecido seja maior, e com isso, exista maior demanda de energia. Sistemas centrais coletivos apresentam maiores perdas térmicas do que sistemas individuais, o que é ainda mais crítico em locais de clima frio e sistemas de grande porte. Por exemplo, para um edifício de doze pavimentos em Curitiba, o aquecimento solar central consome quase o dobro do que se cada unidade possuísse um chuveiro elétrico.

4.2.2.2 Sistema que utilizam gás combustível

Foram considerados dois tipos de sistema de aquecimento a gás para as edificações multifamiliares: aquecedor a gás instantâneo em cada apartamento, e sistema central de aquecimento solar com apoio a gás. Os dois sistemas apresentam chuveiros com a mesma vazão e, conseqüentemente, a mesma demanda de energia para aquecimento da água. Nas Figuras 39 a 43 é apresentado o consumo de energia final destes dois sistemas para o edifício de quatro pavimentos, ambos com isolamento térmico nas tubulações. Percebe-se que em todos os casos, o aquecimento solar com apoio a gás resultou em um menor consumo de energia do que o sistema apenas com aquecedor a gás. Como a

quantidade de água aquecida é a mesma nos dois casos, percebe-se que o uso da energia solar proporciona uma economia expressiva de combustível. Mesmo que no sistema central coletivo ocorram mais perdas de calor do que no sistema a gás individual, devido ao maior comprimento de tubulação, o uso da energia solar ainda é vantajoso.

Figura 39 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba

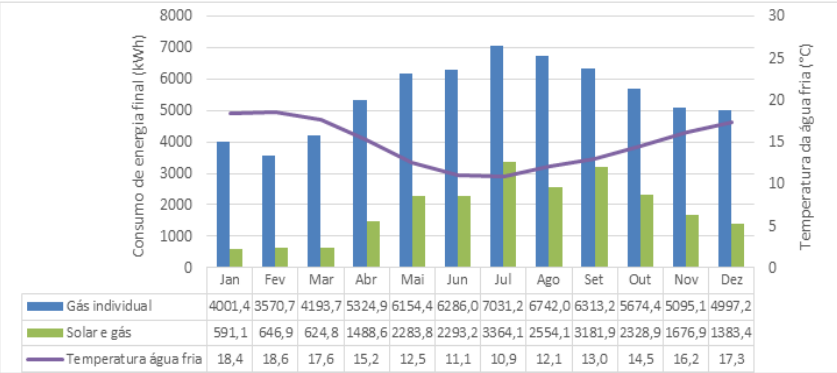


Figura 40 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo

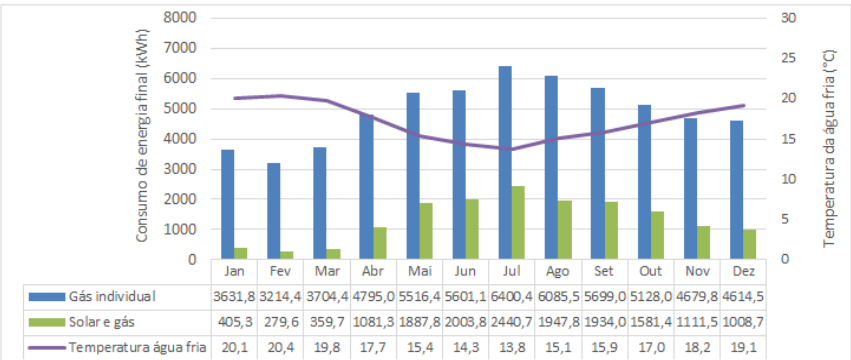


Figura 41 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília

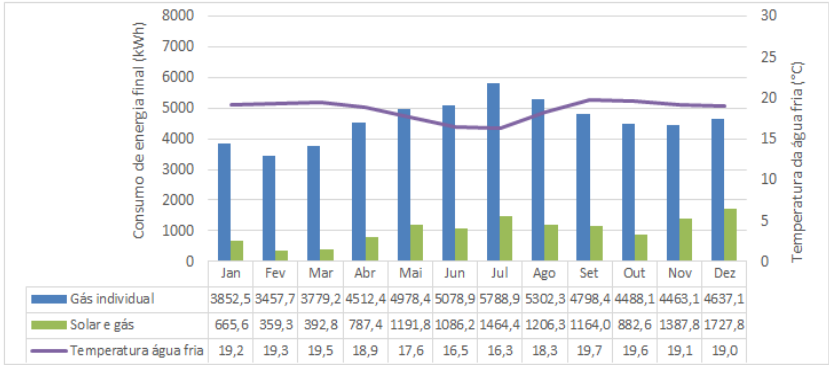


Figura 42 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Salvador

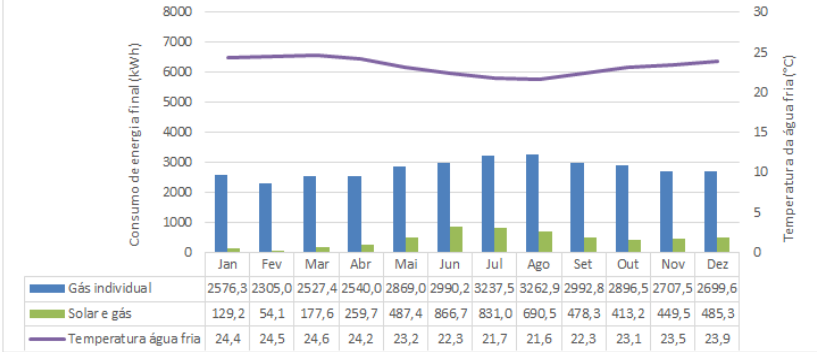
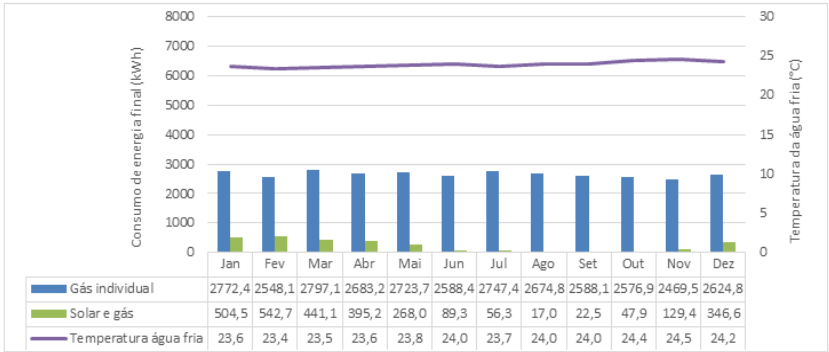


Figura 43 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de quatro pavimentos em Belém



No Apêndice A, são apresentados os resultados para o edifício de doze pavimentos. Nesse caso, percebe-se que a diferença entre o consumo do sistema solar e do aquecimento a gás individual é menor, e a economia é menos expressiva. Isto porque o sistema centralizado é de maior porte, e as perdas térmicas são mais significativas. Mesmo assim, o aquecimento solar apresenta menor consumo de energia.

Na Tabela 26, são apresentados os consumos anuais de energia final para cada cidade, para os sistemas que utilizam gás combustível. Para o edifício de quatro pavimentos, a economia para as cidades mais frias foi próxima à fração solar calculada no dimensionamento, de 70%. Para as cidades mais quentes, percebeu-se uma economia significativamente maior, sendo que para Belém quase toda a demanda de água quente pode ser atendida com energia solar. Para o edifício de doze pavimentos, em que as perdas térmicas no sistema centralizado são mais significativas, a economia gerada pela energia solar é em torno de 50% nas cidades mais frias. Para os locais de clima quente, a economia é semelhante ao valor da fração solar, mas em sistemas de menor porte, a energia solar consegue suprir uma parcela muito maior da demanda.

Tabela 26 – Comparação do consumo anual de energia final das residências multifamiliares com aquecedor a gás individual e com aquecimento central solar e gás.

| Edifício | Cidade | Consumo anual de energia final (kWh) | | Economia com uso da energia solar |
|-------------------|-----------|--------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| | | Aquecedor a gás individual | Solar e gás coletivo | |
| Quatro pavimentos | Curitiba | 65.384,2 | 22.417,7 | 66% |
| | São Paulo | 59.070,3 | 16.041,3 | 73% |
| | Brasília | 55.137,0 | 12.316,1 | 78% |
| | Salvador | 33.604,9 | 5.322,5 | 84% |
| | Belém | 31.794,5 | 2.860,7 | 91% |
| Doze pavimentos | Curitiba | 196.152,6 | 100.580,0 | 49% |
| | São Paulo | 177.210,8 | 82.867,3 | 53% |
| | Brasília | 165.411,1 | 74.806,6 | 55% |
| | Salvador | 100.814,8 | 33.550,4 | 67% |
| | Belém | 95.383,5 | 30.750,4 | 68% |

4.3 Análise do consumo de energia primária

4.3.1 Edificação unifamiliar

Nesta seção é apresentado o consumo anual de energia primária dos diferentes sistemas considerados para edificação unifamiliar, para as

cinco cidades analisadas (Figuras 44 a 48). As barras em verde representam os sistemas com chuveiros de 3 litros por minuto, e as barras em roxo representam os com 12 litros por minuto.

Foram considerados dois cenários para a conversão da energia elétrica em energia primária: o cenário atual, em que o fator de conversão foi calculado com base nos dados da matriz energética brasileira de 2013, e um cenário crítico, em que foi adotado o maior fator de conversão calculado por Santos (2011) para cenários futuros. Para o gás liquefeito de petróleo, foi adotado o mesmo fator de conversão para os dois cenários.

Observa-se que os sistemas com chuveiros de maior vazão, que levam a maiores níveis de conforto de banho, apresentam maior consumo de energia primária. Muitas políticas públicas incentivam a substituição do chuveiro elétrico por outros sistemas. Percebeu-se, contudo, que o chuveiro elétrico levou a um dos menores consumos de energia primária dentre os sistemas avaliados. Entretanto, é importante ressaltar que, conforme evidenciado por Napolini e Rüther (2012), o chuveiro elétrico leva a um maior consumo de eletricidade no horário de pico, pois a utilização da energia ocorre no momento do banho.

O aquecimento solar, estimulado pelas políticas públicas por consumir menos energia, se mostra uma alternativa muito vantajosa quando combinado com o chuveiro elétrico. Por outro lado, quando o aquecimento suplementar é feito no próprio reservatório e estiver programado para temperaturas de armazenamento muito altas, o sistema solar se torna a alternativa menos eficiente. Se a temperatura de armazenamento for próxima à temperatura de banho, considerando o cenário atual para geração de eletricidade, o aquecimento solar é a opção mais eficiente para chuveiros de maior vazão.

O gás, embora apresente um fator de conversão em energia primária menor do que o da eletricidade, apresenta um consumo de energia final alto, pois a vazão de água é maior, necessitando mais energia para atingir a temperatura desejada. Assim, para o cenário atual, o aquecedor a gás está entre os sistemas que mais consomem energia primária. Entretanto, considerando o cenário mais crítico para a geração de eletricidade, com o valor do fator de conversão da energia elétrica mais alto, o gás pode ser uma alternativa mais eficiente. Para as cidades de Curitiba, São Paulo e Brasília, considerando o cenário atual, o aquecedor a gás instantâneo consome mais energia primária do que o sistema solar com boiler elétrico com temperatura de armazenamento próxima a de banho. Considerando o cenário mais crítico para eletricidade, o aquecedor a gás apresenta consumo próximo ao solar

quando os banhos ocorrem de manhã, sendo que para Curitiba, o consumo do aquecedor a gás é menor.

Figura 44 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência unifamiliar em Curitiba, considerando cenário atual (a) e cenário crítico (b)

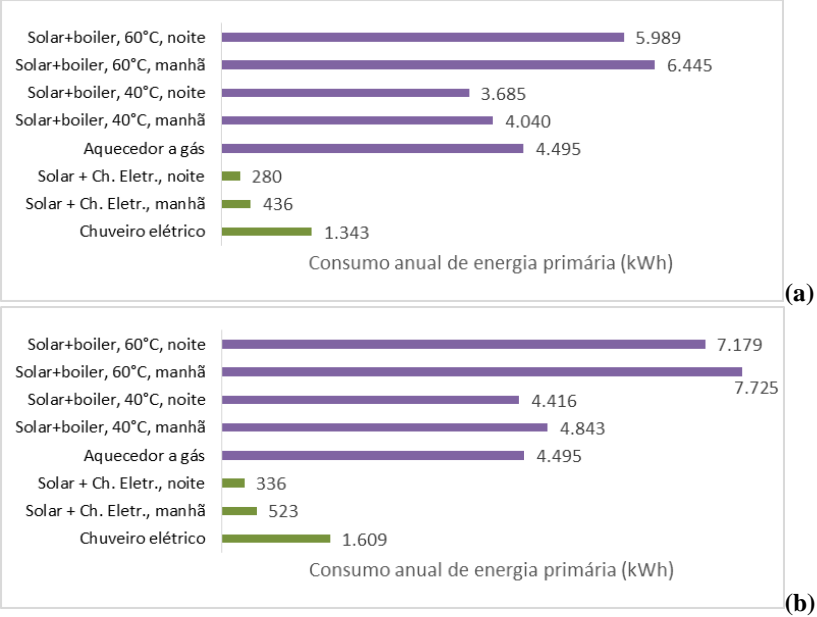
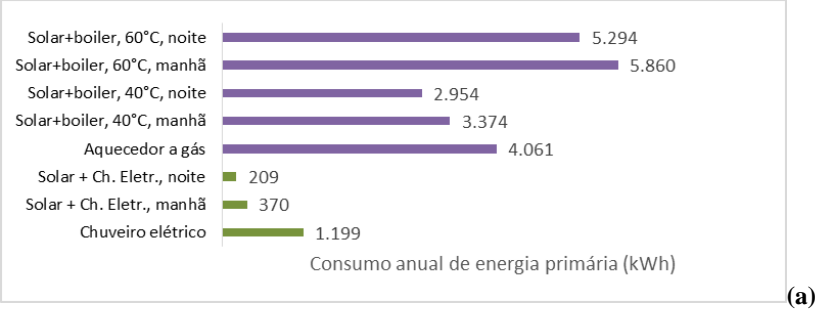


Figura 45 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência unifamiliar em São Paulo, considerando cenário atual (a) e cenário crítico (b)



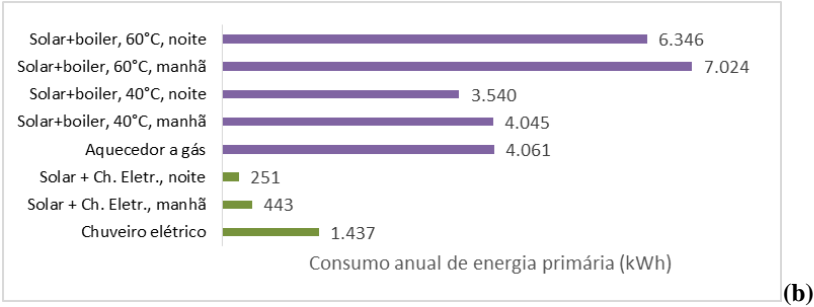


Figura 46 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência unifamiliar em Brasília, considerando cenário atual (a) e cenário crítico (b)

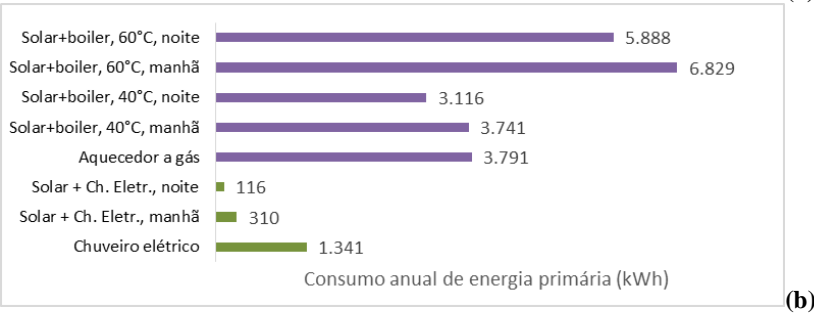
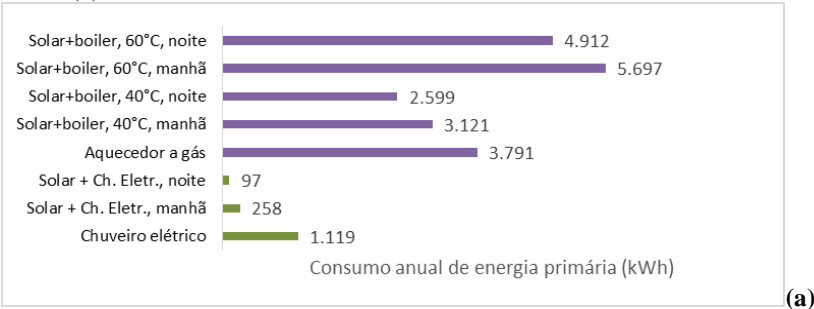


Figura 47 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência unifamiliar em Salvador, considerando cenário atual (a) e cenário crítico (b).

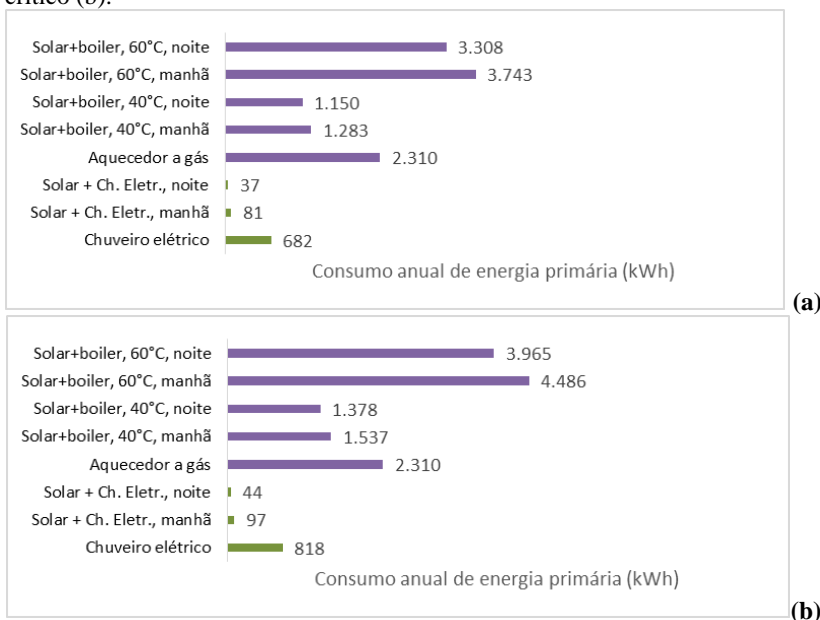
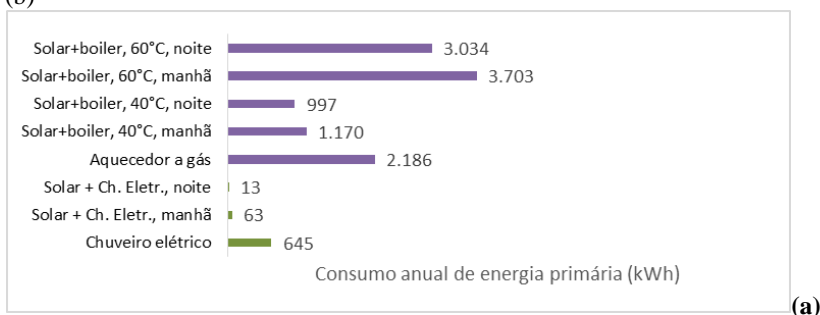
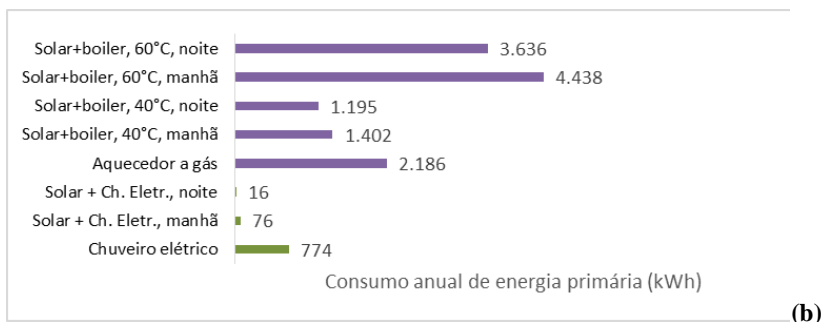


Figura 48 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência unifamiliar em Belém considerando cenário atual (a) e cenário crítico (b)





4.3.2 Edificação multifamiliar

Nas Figuras 49 a 53, é apresentado o consumo anual de energia primária dos sistemas analisados para os edifícios multifamiliares, considerando o cenário atual e o cenário crítico. Percebe-se que, em todos os casos analisados, o aquecedor a gás instantâneo apresentou o maior consumo. O aquecimento solar proporciona uma economia de energia primária, principalmente quando combinado com apoio a gás, que tem o valor do fator de conversão menor do que a eletricidade.

Para os edifícios de quatro pavimentos nas cidades de clima mais frio, o aquecimento solar com apoio elétrico apresentou maior consumo de energia primária do que o chuveiro elétrico. Quando o *backup* do solar é feito por aquecedores a gás, cujo fator de conversão é menor, o consumo de energia primária é menor ou próximo ao do chuveiro elétrico. Considerando o cenário crítico da geração de eletricidade, o aquecimento solar com gás se torna ainda mais vantajoso. Este sistema tem maior vazão nos chuveiros do que o chuveiro elétrico, e, consequentemente, maior quantidade de água a ser aquecida, além de haver perdas térmicas no armazenamento e distribuição. Todavia, o aproveitamento da energia solar combinado com um combustível com menor fator de conversão de energia primária faz com que o consumo total de energia seja menor.

Considerando o cenário atual, apenas Curitiba apresenta consumo de energia primária menor para o chuveiro elétrico do que para o sistema central solar com gás. Essa cidade apresenta temperatura do ar mais fria do que as outras localidades, fazendo com que as perdas térmicas na distribuição da água quente sejam maiores. Deste modo, a utilização de sistemas individuais em locais de clima frio pode ser uma opção mais eficiente do que sistemas centralizados e de acumulação.

Para Belém e Salvador, em que o clima é quente e as perdas

térmicas não são tão críticas, o aquecimento solar apresenta um consumo próximo do chuveiro elétrico, mesmo quando o *backup* é feito por resistência elétrica. Com o apoio a gás, o consumo chega a ser 70% mais baixo do que o chuveiro elétrico, considerando o cenário atual. Conclui-se que para os locais com temperatura do ar e da água fria mais altas, e boa incidência de radiação solar, a utilização da energia solar se mostra uma opção eficiente, mesmo com sistemas centralizados.

Por outro lado, em sistemas de maior porte, como o edifício de doze pavimentos, as perdas térmicas nos sistemas centralizados têm maior impacto no consumo de energia, mesmo para as cidades quentes. Considerando o cenário atual, o chuveiro elétrico apresentou menor consumo de energia do que os sistemas solares, mesmo para Belém e Salvador. O aquecedor a gás individual é o sistema com maior consumo de energia primária, mesmo com um menor comprimento de tubulação entre o aquecedor e o chuveiro do que os sistemas centrais. Estes sistemas possuem chuveiros de mesma vazão, e o volume de água aquecido é o mesmo. Percebe-se que o uso da energia solar compensa as perdas térmicas do sistema, levando a um menor consumo de energia mesmo para sistemas de grande porte.

Embora os consumos de energia primária do chuveiro elétrico e do aquecimento solar sejam próximos em alguns casos, o volume de água aquecida é maior no sistema solar do que no chuveiro elétrico, que possui menor vazão de banho. Caso fosse utilizado um chuveiro de menor vazão no sistema central, o consumo de energia seria menor, e o aquecimento solar poderia ser a alternativa mais vantajosa. O mesmo vale para o aquecedor a gás individual: com chuveiros de menor vazão, o consumo de energia final seria menor, e, devido ao menor fator de conversão, o consumo de energia primária do aquecedor a gás poderia ser reduzido.

Figura 49 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência multifamiliar em Curitiba, considerando cenário atual e cenário crítico

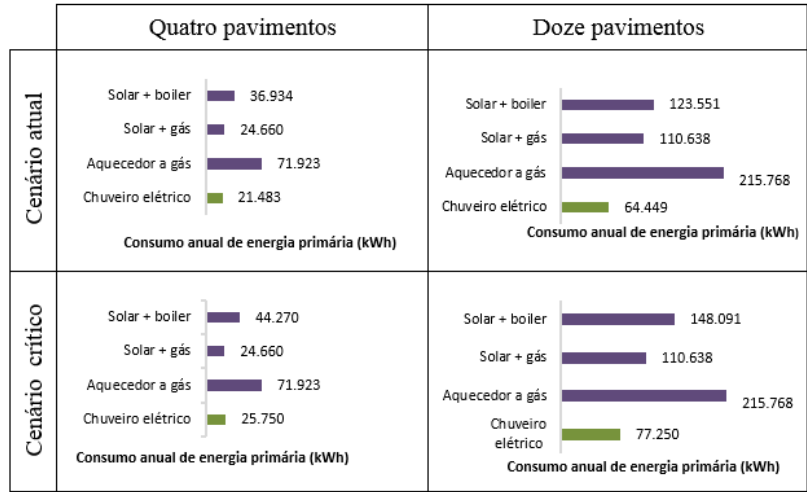


Figura 50 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência multifamiliar em São Paulo, considerando cenário atual e cenário crítico

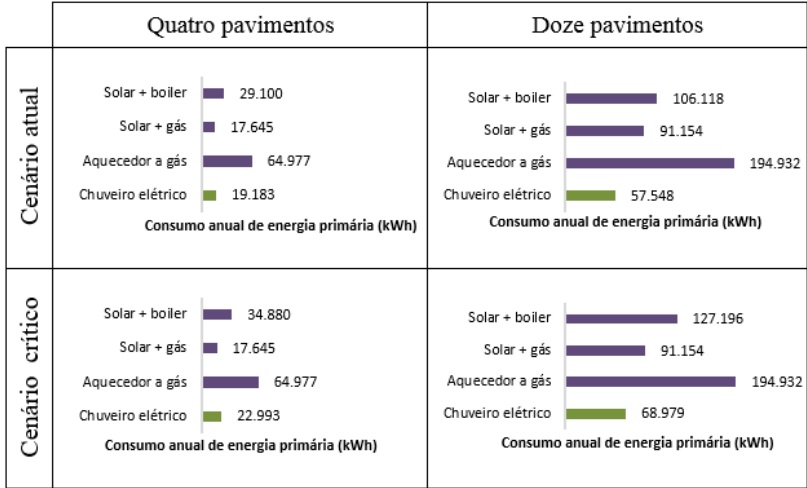


Figura 51 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência multifamiliar em Brasília, considerando cenário atual e cenário crítico

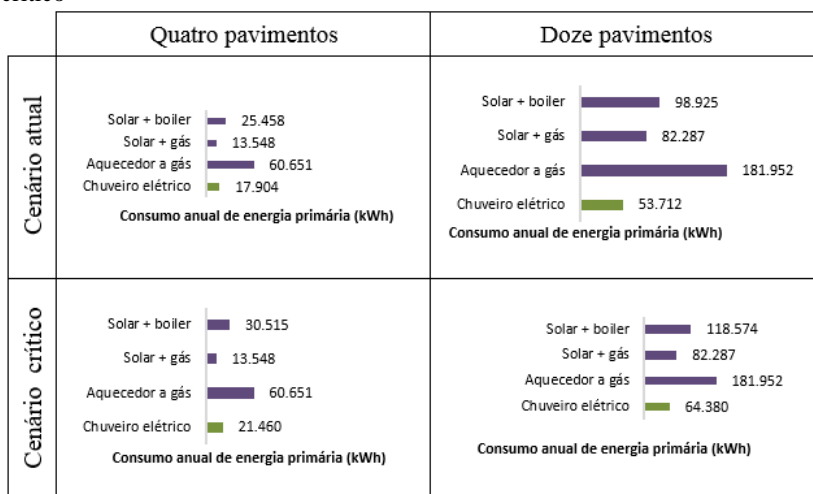


Figura 52 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência multifamiliar em Salvador, considerando cenário atual e cenário crítico

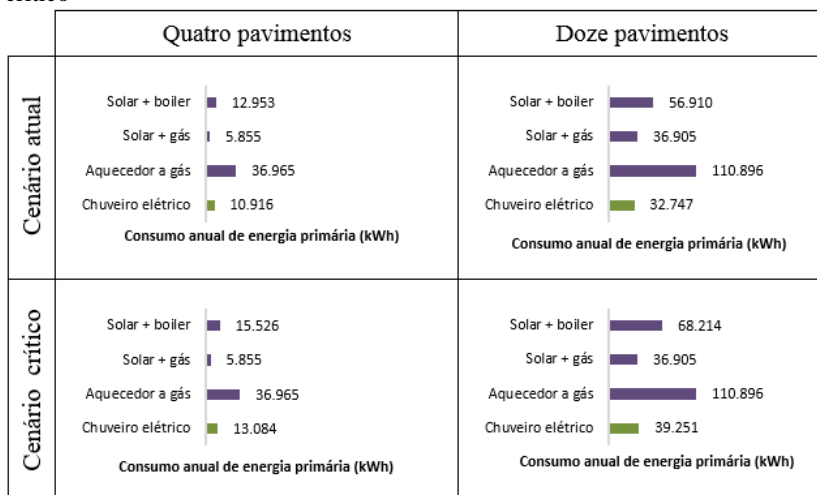
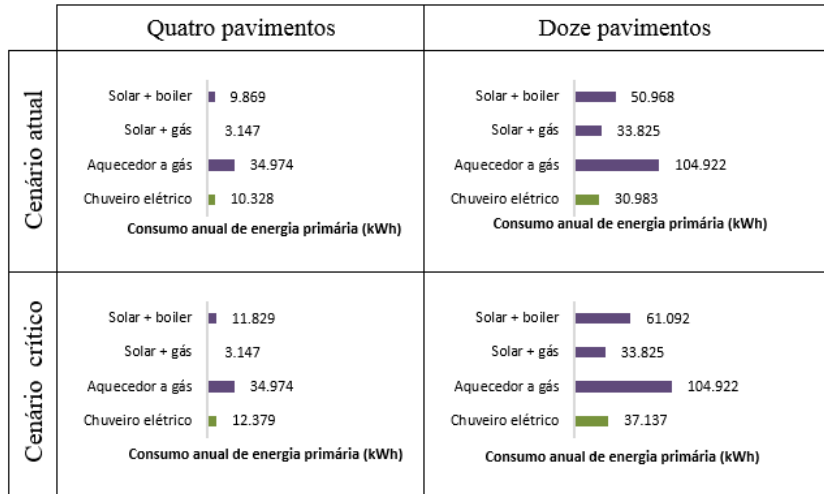


Figura 53 – Consumo anual de energia primária para aquecimento de água para residência multifamiliar em Belém, considerando cenário atual e cenário crítico



Observa-se que a escolha do combustível mais eficiente é afetada pelo cenário da matriz de geração de energia. Quatro casos analisados neste estudo apresentaram sistemas que utilizam eletricidade com consumo menor de energia primária do que sistemas que usam gás combustível, no cenário atual. Considerando o cenário crítico da geração de eletricidade a situação se inverte, e o aquecimento a gás apresenta consumo menor do que o sistema que usa energia elétrica. Esta situação foi observada nos seguintes casos:

- Residência unifamiliar em Curitiba, comparação entre aquecimento a gás e solar com resistência elétrica com temperatura de armazenamento de 40°C com banhos pela manhã;
- Edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba, comparação entre aquecimento solar com gás e chuveiro elétrico;
- Edifício multifamiliar de doze pavimentos em Salvador e Belém, comparação entre aquecimento solar com gás e chuveiro elétrico.

4.4 Análise das perdas térmicas nas tubulações

Para os sistemas centralizados, tanto individuais quanto coletivos,

a análise do consumo de energia final e de energia primária apresentada nas seções anteriores foi realizada considerando que as tubulações possuem isolamento térmico. Nesta seção, são apresentados os resultados da análise da influência do isolamento térmico das tubulações no desempenho dos sistemas, considerando a utilização ou não de isolamento térmico nos tubos entre o aquecedor e o chuveiro. Considerou-se isolante de 1 cm de espessura, conforme exigido no RTQ-R para o nível A.

4.4.1 Edificação unifamiliar

Para os casos em que todo o aquecimento da água é feito antes da tubulação, como aquecedor a gás e solar com resistência elétrica no reservatório, não foi percebido um aumento significativo no consumo de energia pela não utilização do isolamento térmico. Isso porque o usuário define o *setpoint* do sistema no aquecedor, e não no chuveiro, apenas regulando a temperatura no chuveiro caso ela esteja mais quente do que o desejado. Desta forma, o que ocorre é uma redução na temperatura de banho nos casos sem isolamento térmico.

Para demonstrar a variação da temperatura na saída do tubo ao longo do dia, foram escolhidos quatro dias do ano, sendo um de cada período de temperatura de banho. As Figuras 54 e 55 apresentam a variação da temperatura na saída da tubulação para o sistema com aquecedor a gás, que tem o maior comprimento de tubulação. Nas Tabelas 27 e 28 são indicadas as temperaturas de saída da tubulação no momento do banho. São mostrados aqui os resultados para Curitiba e Belém, que possuem os climas mais extremos dentre as cidades analisadas. Os resultados para as demais cidades são apresentados no Apêndice B, e são semelhantes aos de Curitiba e Belém.

Figura 54 – Variação na temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento a gás em residência unifamiliar em Curitiba

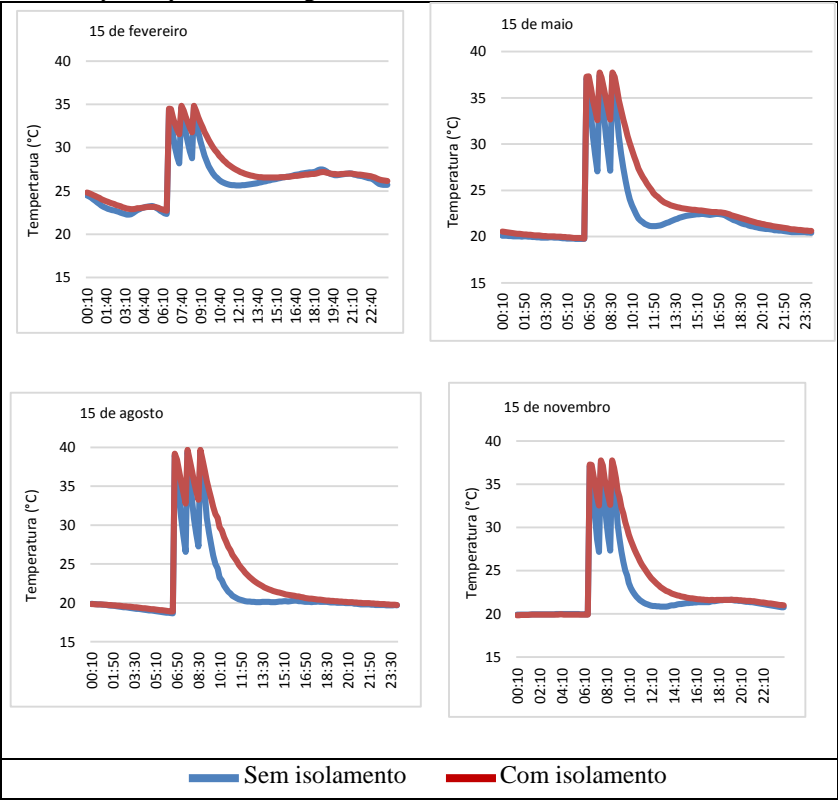


Tabela 27 – Temperatura na saída do tubo de água quente no horário do banho, para aquecimento a gás residência unifamiliar em Curitiba

| Hora do banho | Temperatura desejada (°C) | Temperatura sem isolamento (°C) | Temperatura com isolamento (°C) | Diferença entre a temperatura com e sem isolamento (°C) |
|----------------------|----------------------------------|--|--|--|
| 15/fev 06:40 | 35 | 34,41 | 34,52 | 0,11 |
| 15/fev 07:40 | 35 | 34,68 | 34,84 | 0,16 |
| 15/fev 08:40 | 35 | 34,71 | 34,86 | 0,14 |
| 15/mai 06:40 | 38 | 37,13 | 37,28 | 0,15 |
| 15/mai 07:40 | 38 | 37,47 | 37,74 | 0,27 |
| 15/mai 08:40 | 38 | 37,47 | 37,74 | 0,27 |
| 15/ago 06:40 | 40 | 39,00 | 39,17 | 0,18 |
| 15/ago 07:40 | 40 | 39,38 | 39,69 | 0,30 |
| 15/ago 08:40 | 40 | 39,41 | 39,70 | 0,29 |
| 15/nov 06:40 | 38 | 37,13 | 37,28 | 0,15 |
| 15/nov 07:40 | 38 | 37,47 | 37,75 | 0,27 |
| 15/nov 08:40 | 38 | 37,48 | 37,75 | 0,27 |

Figura 55 – Variação na temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento a gás em residência unifamiliar em Belém

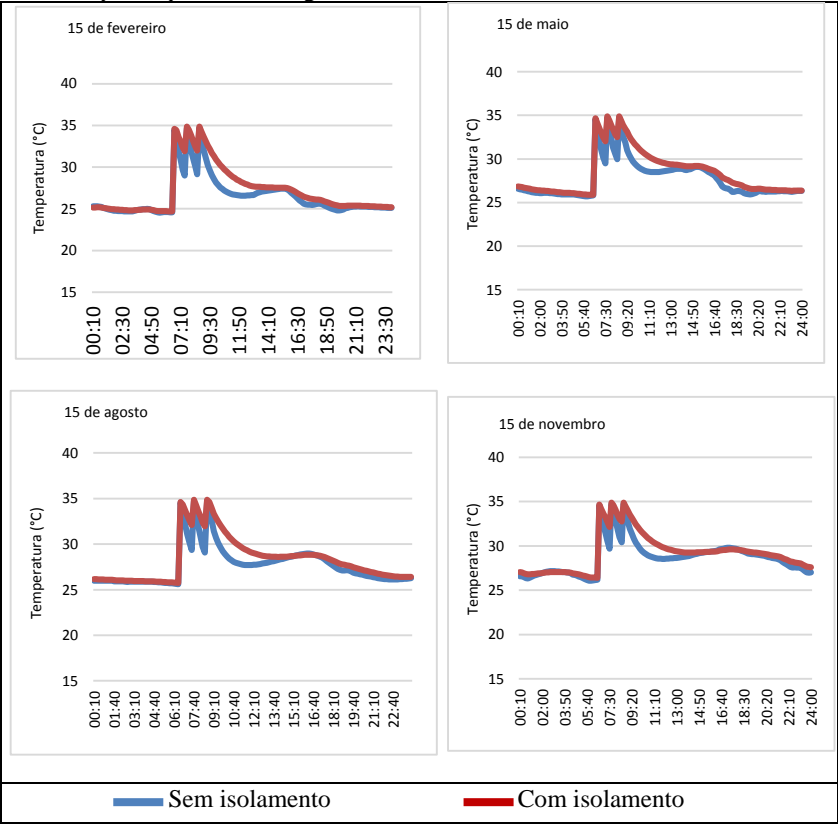


Tabela 28 – Temperatura na saída do tubo de água quente no horário do banho, para aquecimento a gás residência unifamiliar em Belém.

| Hora do banho | Temperatura desejada (°C) | Temperatura sem isolamento (°C) | Temperatura com isolamento (°C) | Diferença entre a temperatura com e sem isolamento (°C) |
|----------------------|----------------------------------|--|--|--|
| 15/fev 06:40 | 35 | 34,50 | 34,59 | 0,09 |
| 15/fev 07:40 | 35 | 34,71 | 34,85 | 0,15 |
| 15/fev 08:40 | 35 | 34,73 | 34,86 | 0,14 |
| 15/mai 06:40 | 35 | 34,57 | 34,65 | 0,07 |
| 15/mai 07:40 | 35 | 34,74 | 34,87 | 0,12 |
| 15/mai 08:40 | 35 | 34,77 | 34,88 | 0,12 |
| 15/ago 06:40 | 35 | 34,55 | 34,63 | 0,08 |
| 15/ago 07:40 | 35 | 34,73 | 34,87 | 0,13 |
| 15/ago 08:40 | 35 | 34,71 | 34,85 | 0,14 |
| 15/nov 06:40 | 35 | 34,59 | 34,67 | 0,07 |
| 15/nov 07:40 | 35 | 34,75 | 34,87 | 0,12 |
| 15/nov 08:40 | 35 | 34,79 | 34,89 | 0,11 |

Constatou-se que, devido às perdas térmicas nas tubulações, a temperatura no chuveiro pode ser até 1°C menor do que a temperatura de banho ajustada no aquecedor. Com a utilização do isolamento térmico, a água chega a uma temperatura um pouco maior, mas a diferença com e sem isolamento não ultrapassa 0,3°C.

Observa-se que a maior influência do isolamento térmico não está na temperatura no momento do banho, mas sim no tempo em que a água parada na tubulação demora para esfriar. Quando o chuveiro não está em uso e a água está parada no tubo, ela esfria muito mais rapidamente quando não há isolamento térmico. Caso uma pessoa tome banho pouco tempo depois de outra, se a tubulação é isolada a água estará em uma temperatura mais próxima da desejada, e ocorrerá menos desperdício de água até a chegada da água quente. Entretanto, se os banhos forem

tomados com um intervalo maior entre eles (por exemplo, de manhã e à noite), a água no ponto de saída se encontra praticamente a mesma temperatura com ou sem isolamento térmico.

No sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico, a água é pré-aquecida nos coletores solares, sem consumir energia elétrica, e é levada pelas tubulações até o chuveiro elétrico, onde ocorre o aquecimento auxiliar, quando necessário. A diferença de temperatura na saída do tubo com a utilização ou não de isolamento térmico influencia no consumo de eletricidade, visto que se a água chega a uma temperatura menor, será necessária mais energia para aquecê-la até a temperatura desejada. Os consumos de energia elétrica para cada cidade, e a economia em relação à utilização apenas do chuveiro elétrico, são mostrados na Tabela 29.

Observa-se que o consumo anual de eletricidade pode aumentar de 3% a 50% por não utilizar o isolamento térmico, dependendo da cidade. Essa diferença representa em torno de 1% a menos de economia em relação ao chuveiro elétrico. Percebe-se que a diferença percentual no consumo com e sem isolante é maior para as cidades de clima quente, porém a diferença absoluta é maior nas cidades de clima frio. Nos locais com temperatura do ar menor, as perdas ocorrem mesmo com a utilização do isolante térmico, fazendo com que o seu uso não implique em uma redução significativa no consumo de energia. Para que o sistema de distribuição tenha um desempenho térmico melhor em locais frios, é necessário utilizar isolamento térmico de maior espessura.

Tabela 29 – Comparação do consumo anual de eletricidade do sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico para residência unifamiliar, com e sem isolamento térmico nas tubulações.

| | | Banhos pela manhã | | Banhos à noite | |
|-----------|--|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| | | Com isolamento | Sem isolamento | Com isolamento | Sem isolamento |
| Curitiba | Consumo anual (kWh) | 298,8 | 307,9 | 191,8 | 203,3 |
| | Economia em relação ao chuveiro elétrico (%) | 68 | 67 | 79 | 78 |
| | Aumento no consumo por não usar isolamento (%) | 3 | | 6 | |
| São Paulo | Consumo anual (kWh) | 253,2 | 262,6 | 143,3 | 155,0 |
| | Economia em relação ao chuveiro elétrico (%) | 69 | 68 | 83 | 81 |
| | Aumento no consumo por não usar isolamento (%) | 4 | | 8 | |
| Brasília | Consumo anual (kWh) | 177,0 | 187,3 | 66,2 | 79,3 |
| | Economia em relação ao chuveiro elétrico (%) | 77 | 76 | 91 | 90 |
| | Aumento no consumo por não usar isolamento (%) | 6 | | 20 | |
| Salvador | Consumo anual (kWh) | 55,5 | 62,0 | 25,2 | 28,7 |
| | Economia em relação ao chuveiro elétrico (%) | 88 | 87 | 95 | 94 |
| | Aumento no consumo por não usar isolamento (%) | 12 | | 14 | |
| Belém | Consumo anual (kWh) | 43,4 | 49,4 | 9,2 | 13,7 |
| | Economia em relação ao chuveiro elétrico (%) | 90 | 89 | 98 | 97 |
| | Aumento no consumo por não usar isolamento (%) | 14 | | 50 | |

4.4.2 Edificação multifamiliar

4.4.2.1 Edifício de quatro pavimentos

Nas Tabelas 30 a 33 são apresentadas as temperaturas nos momentos em que ocorrem banhos, na entrada da tubulação para distribuição de água quente (saída do reservatório) e no ponto de saída das prumadas do quarto pavimento (mais próximo do aquecedor) e primeiro pavimento (mais distante do aquecedor). Estes resultados foram obtidos das simulações do sistema central com aquecimento solar e a gás, com e sem isolamento térmico nas tubulações. Está indicada nas tabelas também a diferença entre a temperatura da entrada da tubulação e a temperatura da saída na prumada de cada pavimento. Quando a diferença de temperatura excede 2°C, os campos estão marcados em vermelho; quando a diferença está entre 1°C e 2°C, estão identificados em laranja; e para diferenças menores do que 1°C, os campos estão

marcados em verde. São mostrados aqui os resultados para Curitiba e Belém, para um dia do período de verão e um dia do período de inverno. Os resultados para as demais cidades, com um dia de cada estação, são apresentados no Apêndice D.

Pode-se observar que, conforme era esperado, quanto maior o comprimento de tubulação, maior a diferença de temperatura da água entre o ponto de entrada e de saída. Devido ao maior comprimento de tubulação e, consequentemente, maior perda de calor, verifica-se que o isolamento térmico é necessário para maiores distâncias. Na maioria dos casos, a diferença entre a temperatura de entrada e de saída no 4º pavimento não ultrapassa 1°C, mesmo nos casos sem isolamento. Por outro lado, para o primeiro pavimento as diferenças com isolamento dificilmente ultrapassam 1°C, mas sem isolamento, são maiores que 1°C ou próximas a isso na maioria dos casos. Foi observado também que as diferenças de temperatura entre a entrada e a saída dos tubos são maiores nas cidades de clima mais frio do que nas cidades mais quentes.

Percebe-se que a diferença de temperatura entre a entrada e a saída dos tubos é maior no primeiro banho de cada faixa de horário. Quando ocorrem banhos seguidos, a água e as tubulações já estão aquecidas, e a diferença de temperatura é menor. A maior diferença ocorre no primeiro banho da manhã. Nestes casos, mesmo com isolamento térmico a diferença de temperatura pode chegar a 4,83°C.

Para Curitiba no inverno, a diferença entre a temperatura no aquecedor e na saída do primeiro pavimento chega a 5,59°C no primeiro banho da manhã quando não é usado isolamento térmico. Usando isolamento, essa diferença é de 4,83°C. O isolamento melhora o desempenho, mas para cidades frias, percebe-se a necessidade de se usar um isolamento de maior espessura, porque as perdas ainda são significativas.

Tabela 30 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de fevereiro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,40 | 41,01 | 38,65 | 1,39 | 3,75 | 42,39 | 41,26 | 39,22 | 1,13 | 3,17 |
| 06:40 | 42,28 | 41,87 | 40,85 | 0,42 | 1,44 | 42,28 | 42,10 | 41,54 | 0,18 | 0,74 |
| 07:10 | 42,15 | 41,83 | 41,04 | 0,32 | 1,11 | 42,31 | 42,17 | 41,81 | 0,14 | 0,50 |
| 07:40 | 41,72 | 41,47 | 40,75 | 0,25 | 0,97 | 42,06 | 41,96 | 41,68 | 0,10 | 0,38 |
| 08:10 | 41,14 | 40,91 | 40,34 | 0,23 | 0,79 | 41,63 | 41,55 | 41,31 | 0,08 | 0,32 |
| 08:40 | 40,85 | 40,57 | 40,01 | 0,28 | 0,84 | 41,24 | 41,16 | 40,95 | 0,09 | 0,30 |
| 18:10 | 40,86 | 40,18 | 39,09 | 0,67 | 1,77 | 41,21 | 40,61 | 39,58 | 0,59 | 1,63 |
| 18:40 | 41,27 | 40,96 | 40,34 | 0,31 | 0,93 | 41,52 | 41,38 | 41,03 | 0,13 | 0,49 |
| 19:10 | 41,63 | 41,31 | 40,71 | 0,32 | 0,92 | 41,81 | 41,68 | 41,42 | 0,12 | 0,39 |
| 19:40 | 41,93 | 41,63 | 41,00 | 0,30 | 0,93 | 42,05 | 41,93 | 41,67 | 0,12 | 0,38 |
| 20:10 | 42,16 | 41,89 | 41,26 | 0,27 | 0,90 | 42,24 | 42,12 | 41,82 | 0,12 | 0,42 |
| 20:40 | 42,34 | 42,03 | 41,38 | 0,31 | 0,95 | 42,39 | 42,26 | 41,99 | 0,12 | 0,40 |

Tabela 31 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 44,57 | 42,58 | 38,98 | 1,99 | 5,59 | 44,69 | 43,14 | 39,86 | 1,55 | 4,83 |
| 06:40 | 44,36 | 43,87 | 42,37 | 0,49 | 1,99 | 44,56 | 44,37 | 43,81 | 0,19 | 0,75 |
| 07:10 | 44,02 | 43,56 | 42,29 | 0,46 | 1,73 | 44,23 | 44,04 | 43,52 | 0,19 | 0,71 |
| 07:40 | 43,50 | 43,06 | 41,85 | 0,43 | 1,64 | 43,75 | 43,58 | 43,10 | 0,17 | 0,65 |
| 08:10 | 42,86 | 42,45 | 41,32 | 0,40 | 1,54 | 42,94 | 42,78 | 42,36 | 0,15 | 0,58 |
| 08:40 | 42,40 | 42,01 | 40,93 | 0,40 | 1,48 | 42,58 | 42,43 | 42,00 | 0,15 | 0,58 |
| 18:10 | 42,82 | 41,24 | 38,42 | 1,58 | 4,40 | 43,13 | 41,86 | 39,40 | 1,27 | 3,72 |
| 18:40 | 44,07 | 43,47 | 42,37 | 0,60 | 1,69 | 44,25 | 44,01 | 43,50 | 0,24 | 0,75 |
| 19:10 | 45,08 | 44,45 | 43,30 | 0,63 | 1,78 | 45,18 | 44,93 | 44,40 | 0,24 | 0,77 |
| 19:40 | 45,84 | 45,21 | 44,01 | 0,64 | 1,84 | 45,88 | 45,64 | 45,10 | 0,24 | 0,78 |
| 20:10 | 46,39 | 45,76 | 44,53 | 0,64 | 1,87 | 46,41 | 46,16 | 45,62 | 0,24 | 0,79 |
| 20:40 | 46,79 | 46,14 | 44,89 | 0,65 | 1,90 | 46,79 | 46,54 | 45,99 | 0,24 | 0,79 |

Tabela 32 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de fevereiro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 41,84 | 40,61 | 38,58 | 1,22 | 3,26 | 41,89 | 40,88 | 39,08 | 1,01 | 2,81 |
| 06:40 | 41,42 | 41,05 | 40,22 | 0,37 | 1,19 | 41,56 | 41,42 | 40,96 | 0,14 | 0,60 |
| 07:10 | 40,83 | 40,51 | 39,92 | 0,31 | 0,91 | 41,09 | 41,00 | 40,77 | 0,09 | 0,32 |
| 07:40 | 40,58 | 40,27 | 39,67 | 0,32 | 0,91 | 40,55 | 40,46 | 40,25 | 0,09 | 0,30 |
| 08:10 | 40,45 | 40,15 | 39,56 | 0,30 | 0,88 | 40,44 | 40,34 | 40,09 | 0,11 | 0,35 |
| 08:40 | 40,27 | 39,98 | 39,43 | 0,29 | 0,84 | 40,24 | 40,15 | 39,94 | 0,09 | 0,30 |
| 18:10 | 40,41 | 39,53 | 37,91 | 0,87 | 2,50 | 40,47 | 39,81 | 38,47 | 0,67 | 2,00 |
| 18:40 | 40,91 | 40,54 | 39,89 | 0,37 | 1,02 | 40,94 | 40,80 | 40,50 | 0,14 | 0,44 |
| 19:10 | 41,33 | 40,92 | 40,21 | 0,40 | 1,11 | 41,33 | 41,18 | 40,85 | 0,16 | 0,49 |
| 19:40 | 41,66 | 41,25 | 40,52 | 0,41 | 1,14 | 41,66 | 41,50 | 41,16 | 0,16 | 0,50 |
| 20:10 | 41,93 | 41,52 | 40,71 | 0,41 | 1,22 | 41,91 | 41,75 | 41,38 | 0,16 | 0,53 |
| 20:40 | 42,11 | 41,70 | 40,98 | 0,41 | 1,13 | 42,11 | 41,96 | 41,64 | 0,15 | 0,46 |

Tabela 33 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,19 | 41,02 | 38,84 | 1,17 | 3,35 | 41,81 | 40,86 | 39,00 | 0,95 | 2,81 |
| 06:40 | 42,17 | 41,79 | 40,95 | 0,38 | 1,22 | 41,87 | 41,72 | 41,33 | 0,15 | 0,54 |
| 07:10 | 42,13 | 41,72 | 40,97 | 0,40 | 1,16 | 41,95 | 41,80 | 41,48 | 0,15 | 0,47 |
| 07:40 | 41,88 | 41,47 | 40,69 | 0,41 | 1,19 | 41,89 | 41,74 | 41,40 | 0,15 | 0,48 |
| 08:10 | 41,34 | 40,95 | 40,24 | 0,38 | 1,10 | 41,53 | 41,40 | 41,11 | 0,13 | 0,42 |
| 08:40 | 41,02 | 40,67 | 40,01 | 0,35 | 1,01 | 40,97 | 40,89 | 40,66 | 0,08 | 0,30 |
| 18:10 | 41,15 | 40,29 | 38,74 | 0,86 | 2,41 | 40,99 | 40,34 | 39,08 | 0,65 | 1,90 |
| 18:40 | 41,56 | 41,23 | 40,53 | 0,34 | 1,04 | 41,33 | 41,19 | 40,87 | 0,14 | 0,46 |
| 19:10 | 41,87 | 41,53 | 40,71 | 0,34 | 1,15 | 41,62 | 41,47 | 41,11 | 0,15 | 0,52 |
| 19:40 | 42,10 | 41,71 | 40,93 | 0,38 | 1,17 | 41,87 | 41,72 | 41,37 | 0,16 | 0,50 |
| 20:10 | 42,27 | 41,86 | 41,06 | 0,42 | 1,21 | 42,08 | 41,93 | 41,60 | 0,15 | 0,48 |
| 20:40 | 42,40 | 41,99 | 41,23 | 0,42 | 1,17 | 42,24 | 42,08 | 41,73 | 0,16 | 0,51 |

Para o sistema central, foi percebida uma diferença no consumo anual de energia entre os casos com e sem isolamento térmico (Tabela 34). Assim como para a residência unifamiliar, a diferença absoluta entre o consumo com e sem isolamento é maior para as cidades de clima frio (1.065,8 kWh para Curitiba e 589,3 kWh para Belém), embora percentualmente o aumento seja mais significativo para as cidades

quentes.

Tabela 34 – Comparação do consumo anual de energia final do sistema de aquecimento solar com gás para residência multifamiliar, com e sem isolamento térmico nas tubulações

| Cidade | Consumo anual de energia final do sistema central solar e gás (kWh) | | Aumento no consumo por não usar isolamento (%) |
|-----------|---|----------------|--|
| | Com isolamento | Sem isolamento | |
| Curitiba | 22.417,7 | 23.483,5 | 4,8 |
| São Paulo | 16.041,3 | 17.069,2 | 6,4 |
| Brasília | 12.316,1 | 13.389,9 | 8,7 |
| Salvador | 5.322,5 | 5.977,7 | 12,3 |
| Belém | 2.860,7 | 3.450,0 | 20,6 |

4.4.2.2 Edifício de doze pavimentos

O Apêndice D apresenta as temperaturas na entrada da tubulação, e na saída da prumada no primeiro e no último pavimento, para o edifício de doze andares. Observa-se que para esse edifício, a diferença de temperatura entre o aquecedor e a saída no primeiro pavimento é expressiva, e as perdas térmicas nas tubulações afetam significativamente o desempenho do sistema. Para Curitiba no inverno, a diferença de temperatura pode chegar a mais de 10°C no primeiro banho da manhã quando não há isolamento térmico. Para o clima frio, percebe-se que o isolamento de 1 cm de espessura não é suficiente para evitar as perdas de calor, e mesmo com o isolante a diferença de temperatura variou de 1,41°C a 8,15°C. Mesmo para o clima quente, ainda se percebem perdas térmicas para grandes distâncias, mesmo com o isolante.

Como constatado na revisão da literatura, o desempenho térmico do sistema de distribuição é influenciado não só pela espessura e condutividade térmica dos tubos e isolante, mas também pela temperatura do ar e da água, e comprimentos de tubulação. Percebe-se que o uso do isolamento térmico contribui para que a diferença de temperatura entre o aquecedor e o ponto de utilização seja menor. No entanto, para climas frios e para longas distâncias, essa diferença ainda é significativa, e seria necessário aumentar o isolamento térmico para obter um melhor desempenho.

Observa-se que nas cidades de Curitiba, São Paulo e Brasília não foi possível alcançar a temperatura prevista para o banho em diversos momentos, principalmente no inverno e nos chuveiros do primeiro pavimento. Isto ocorre não só pelas perdas térmicas nos tubos, mas também porque o próprio reservatório não atingiu a temperatura programada, e a água entra na tubulação com uma temperatura inferior à desejada. Nesse caso, seria recomendável redimensionar o sistema, considerando as trocas térmicas do reservatório com o ambiente.

É importante destacar que a metodologia considerada neste estudo para o dimensionamento dos sistemas (RTQ-R e NBR 16057) apresenta considerações sobre as perdas nos reservatórios, mas de forma genérica. O RTQ-R exige que reservatórios do sistema solar possuam Selo Procel, e que reservatórios com volume superior aos etiquetados pelo Inmetro (1.000 litros) possuam desempenho igual ou superior ao reservatório com maior volume etiquetado – mas não especifica procedimento para verificação desse desempenho. Para reservatórios que não fazem parte do sistema solar, o RTQ-R indica um limite de resistência térmica de 2,20 (mK)/W, que foi considerado no modelo de simulação. A NBR 16057 especifica que a seleção do sistema de armazenamento deve considerar as perdas térmicas, mas não especifica limites ou procedimento para verificação. Considerando os parâmetros indicados nestas metodologias de dimensionamento, observa-se que em alguns casos o sistema pode não atender ao desempenho esperado.

4.5 Análise do consumo de água

Considerando o tempo de banho de 10 minutos, o chuveiro elétrico, de vazão de 3 litros por minuto, consome 30 litros por banho. Nos sistemas com duchas de 12 litros por minuto, em um banho são consumidos 120 litros de água, quatro vezes mais.

A Tabela 35 apresenta o consumo mensal e anual de água, para uma unidade habitacional, para os sistemas com chuveiro elétrico (3 litros por minuto) e com ducha (12 litros por minuto), considerando apenas o tempo de banho simulado. Este consumo é o mesmo para todas as cidades analisadas.

Tabela 35 – Comparação do consumo de água para sistemas com chuveiro de 3 e 12 litros por minuto, para uma unidade habitacional

| Mês | Consumo chuveiro 3 l/min (m³) | Consumo chuveiro 12 l/min (m³) |
|----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Janeiro | 2,79 | 11,16 |
| Fevereiro | 2,52 | 10,08 |
| Março | 2,79 | 11,16 |
| Abril | 2,70 | 10,80 |
| Maiο | 2,79 | 11,16 |
| Junho | 2,70 | 10,80 |
| Julho | 2,79 | 11,16 |
| Agosto | 2,79 | 11,16 |
| Setembro | 2,70 | 10,80 |
| Outubro | 2,79 | 11,16 |
| Novembro | 2,70 | 10,80 |
| Dezembro | 2,79 | 11,16 |
| Consumo anual | 32,85 | 131,40 |

A utilização de chuveiros com menor vazão contribui não só para redução do consumo de água, mas também de energia primária, como foi apresentado na seção 4.3. Como mostrado na Equação 1, quanto menor a vazão, menor a potência necessária para aquecer a água até a temperatura desejada. Para o aquecimento solar, quanto menor o consumo diário de água quente, menor é a área de coletores necessária para alcançar uma mesma fração solar.

Para residências que possuem apenas chuveiro elétrico, além do consumo menor de água devido à vazão reduzida, não ocorre o desperdício de água fria, já que a água é aquecida instantaneamente no próprio chuveiro. Para os sistemas de aquecimento solar com chuveiro elétrico, o usuário tem a opção de aquecer a água do início do banho com o chuveiro elétrico, e reduzir a potência, ou até desligar a resistência, com a chegada da água quente do reservatório. Assim, evita-se o desperdício de água, embora possa haver um gasto de energia desnecessário em dias que o sistema solar conseguiria atender plenamente a demanda de aquecimento.

No caso dos sistemas centralizados, ocorre o descarte da água estagnada nas tubulações até a chegada da água quente. Considerando que toda essa água se encontra fria e é descartada, calculou-se o volume desperdiçado por banho para o sistema com aquecedor a gás instantâneo e para o sistema solar com resistência elétrica no reservatório na

residência unifamiliar (Tabela 36). O volume desperdiçado chega a 1% do volume consumido em um banho de dez minutos para o sistema com aquecedor a gás, que possui maior comprimento de tubulação do que o solar. Se o intervalo entre os banhos for muito longo, ou se as tubulações não possuírem isolamento térmico, esse descarte da água fria ocorrerá em todos os banhos, e o aumento calculado no consumo por banho refletirá no consumo anual.

Tabela 36 – Volume de água desperdiçado por banho, para residência unifamiliar

| Parâmetro | Aquecedor a gás | Aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório |
|----------------------------|------------------------|---|
| Volume desperdiçado (l) | 1,16 | 0,49 |
| Volume de banho (l) | 120 | 120 |
| Aumento no consumo de água | 1,0% | 0,4% |

Para o edifício multifamiliar com sistema central coletivo, a Tabela 37 apresenta o volume de água desperdiçado no apartamento do primeiro pavimento (mais distante do reservatório), para o edifício de quatro e de doze pavimentos.

Quanto maior o comprimento de tubulação, maior será o volume desperdiçado. Por isso, recomenda-se que a distância entre os aquecedores e os chuveiros seja a menor possível. Para edifícios multifamiliares, o volume de água nas tubulações é um dos fatores que deve ser levado em conta no projeto para decisão entre um sistema centralizado ou individual, principalmente para prédios muito altos. A recirculação da água é uma alternativa para manter a água nos tubos na temperatura desejada, evitando o desperdício de água tratada e diminuindo o tempo de espera até a chegada da água quente. Essa opção, por outro lado, leva a um aumento no consumo de energia com a utilização de bombas para circulação da água.

Tabela 37 – Volume de água desperdiçado por banho considerando aquecimento central coletivo, para unidade habitacional do primeiro pavimento

| Parâmetro | Multifamiliar quatro pavimentos | Multifamiliar doze pavimentos |
|----------------------------|--|--------------------------------------|
| Volume desperdiçado (l) | 5,80 | 18,45 |
| Volume de banho (l) | 120 | 120 |
| Aumento no consumo de água | 4,8% | 15,4% |

Essa análise foi realizada com base apenas no diâmetro e comprimento das tubulações, considerando que toda a água é descartada. Não foi possível avaliar a influência do isolamento térmico como forma de evitar o desperdício de água. Como mostrado na seção 4.4, quando o intervalo entre os banhos é longo, a temperatura da água reduz mesmo com o uso do isolamento.

4.6 Análise de custos

4.6.1 Custo de instalação

A Tabela 38 mostra os custos de instalação estimados para os sistemas de aquecimento de água da residência unifamiliar. Os custos de instalação dos edifícios multifamiliares de quatro e doze pavimentos são apresentados nas Tabelas 39 e 40, respectivamente. O custo unitário e as quantidades de cada insumo são detalhados no Apêndice E.

Como era esperado, o chuveiro elétrico apresenta o menor custo de instalação. Para a residência unifamiliar, a instalação do aquecimento solar é mais cara do que a implementação de um aquecedor a gás instantâneo. Por outro lado, para o edifício multifamiliar o preço para instalação de um sistema solar coletivo é mais baixo do que para a instalação de aquecedores a gás em todos os apartamentos. É importante ressaltar que, principalmente para os reservatórios de grande porte, não foi possível encontrar os preços dos equipamentos com as mesmas características dos modelos simulados. Foram adotados valores aproximados, o que pode levar a variações no preço total do sistema. Todavia, tanto os sistemas de aquecimento solar, quanto os com aquecedores a gás, possuem um custo de instalação expressivamente mais alto do que os sistemas apenas com chuveiro elétrico.

Percebe-se também que o isolamento térmico das tubulações tem um custo muito baixo comparado ao custo total do sistema. A instalação

do isolante em uma unidade habitacional com aquecedor a gás instantâneo leva a um aumento médio de 0,35% do custo total de investimento do sistema, em relação a uma residência sem isolamento. Para o sistema central coletivo, esse aumento varia entre 0,09% e 0,13%.

Tabela 38 – Custo de investimento dos sistemas de aquecimento de água para residência unifamiliar

| Sistema | Preço total (R\$) | | | | |
|--|-------------------|-----------|----------|----------|----------|
| | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| Chuveiro elétrico | 104,16 | 122,64 | 102,58 | 98,18 | 96,49 |
| Aquecedor a gás individual - sem isolamento nos tubos | 2.736,45 | 2.816,39 | 2.740,84 | 2.737,57 | 2.667,37 |
| Aquecedor a gás individual - com isolamento nos tubos | 2.746,11 | 2.826,04 | 2.750,49 | 2.747,22 | 2.677,02 |
| Solar com chuveiro elétrico - sem isolamento nos tubos | 4.558,80 | 4.597,62 | 4.482,23 | 4.247,93 | 4.149,49 |
| Solar com chuveiro elétrico - com isolamento nos tubos | 4.562,85 | 4.601,67 | 4.486,28 | 4.251,98 | 4.153,54 |
| Solar com boiler, temperatura de armazenamento próxima a de banho - com isolamento nos tubos | 6.262,62 | 6.216,76 | 6.102,36 | 5.650,87 | 5.533,36 |
| Solar com boiler, temperatura de armazenamento 60°C - com isolamento nos tubos | 5.286,74 | 5.240,88 | 5.126,48 | 4.674,99 | 4.557,48 |

Tabela 39 – Custo de investimento dos sistemas de aquecimento de água para edificação multifamiliar de quatro pavimentos

| Sistema | Preço total (R\$) | | | | |
|---|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| Chuveiro elétrico | 1.666,56 | 1.962,24 | 1.641,28 | 1.570,88 | 1.543,84 |
| Aquecedor a gás individual - sem isolamento nos tubos | 43.783,24 | 45.062,17 | 43.853,37 | 43.801,05 | 42.677,91 |
| Aquecedor a gás individual - com isolamento nos tubos | 43.937,68 | 45.216,61 | 44.007,81 | 43.955,49 | 42.832,35 |
| Solar com apoio elétrico - com isolamento nos tubos | 39.674,04 | 37.861,35 | 34.048,78 | 30.529,83 | 30.551,64 |
| Solar com apoio a gás - sem isolamento nos tubos | 39.960,46 | 38.147,77 | 34.335,20 | 30.371,42 | 30.393,23 |
| Solar com apoio a gás - com isolamento nos tubos | 39.998,26 | 38.185,57 | 34.373,00 | 30.409,22 | 30.431,03 |

Tabela 40 – Custo de investimento dos sistemas de aquecimento de água para edificação multifamiliar de doze pavimentos

| Sistema | Preço total (R\$) | | | | |
|---|-------------------|------------|------------|------------|------------|
| | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| Chuveiro elétrico | 4.999,68 | 5.886,72 | 4.923,84 | 4.712,64 | 4.631,52 |
| Aquecedor a gás individual - sem isolamento nos tubos | 131.349,72 | 135.186,52 | 131.560,12 | 131.403,16 | 128.033,74 |
| Aquecedor a gás individual - com isolamento nos tubos | 131.813,04 | 135.649,84 | 132.023,44 | 131.866,48 | 128.497,06 |
| Solar com apoio elétrico - com isolamento nos tubos | 71.934,65 | 67.515,88 | 58.950,73 | 51.697,82 | 50.129,24 |
| Solar com apoio a gás - sem isolamento nos tubos | 79.868,69 | 75.449,92 | 66.439,94 | 58.297,37 | 56.283,96 |
| Solar com apoio a gás - com isolamento nos tubos | 79.941,59 | 75.522,82 | 66.512,84 | 58.370,27 | 56.356,86 |

4.6.2 Custo de operação

Os custos anuais de operação dos sistemas de aquecimento de água da residência unifamiliar são mostrados na Tabela 41. A

Tabela 42 mostra os resultados para o edifício de quatro pavimentos e a Tabela 43, para o edifício de doze pavimentos. No Apêndice E são detalhados o consumo de eletricidade, de gás e de água, e as tarifas adotadas.

Em todos os casos, os sistemas com chuveiro elétrico têm o custo anual de operação mais baixo, sendo que o aquecimento solar combinado com chuveiro elétrico corresponde ao menor custo para a residência unifamiliar. O aquecimento solar complementado por resistência elétrica no reservatório com temperatura de armazenamento de 60°C leva a um custo anual expressivo, principalmente em cidades frias. Para os edifícios multifamiliares, o aquecimento solar com apoio a gás leva a um custo operacional menor do que o com apoio elétrico, e os dois sistemas têm operação mais barata do que o aquecedor a gás individual.

A diferença no custo anual entre os sistemas com e sem isolamento térmico não é muito significativa. No entanto, neste cálculo foi considerado apenas o aumento no consumo energético, e o desperdício de água não foi contabilizado. Além disso, como mostrado na seção 4.4, o uso do isolante proporciona maior conforto de banho, porque faz com que a temperatura da água no chuveiro seja mais próxima da temperatura no aquecedor, além de diminuir o tempo de espera até a chegada da água quente.

Tabela 41 – Custo anual de operação dos sistemas de aquecimento de água para residência unifamiliar

| Sistema | Preço total (R\$/ano) | | | | |
|--|-----------------------|-----------|----------|----------|----------|
| | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| Chuveiro elétrico | 603,20 | 508,58 | 440,40 | 352,62 | 284,21 |
| Aquecedor a gás individual | 1.793,44 | 1.543,11 | 1.541,52 | 1.190,26 | 842,25 |
| Solar com chuveiro elétrico - sem isolamento nos tubos | 302,05 | 264,99 | 226,51 | 195,21 | 90,10 |
| Solar com chuveiro elétrico - com isolamento nos tubos | 297,54 | 260,87 | 222,72 | 192,69 | 87,16 |
| Solar com boiler, temperatura de armazenamento próxima a de banho - com isolamento nos tubos | 1.964,22 | 1.609,77 | 1.418,78 | 1.025,80 | 658,74 |
| Solar com boiler, temperatura de armazenamento 60°C - com isolamento nos tubos | 2.775,13 | 2.352,22 | 2.070,59 | 1.680,10 | 1.516,23 |

Tabela 42 – Custo anual de operação dos sistemas de aquecimento de água para edifício multifamiliar de quatro pavimentos

| Sistema | Preço total (R\$/ano) | | | | |
|---|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| Chuveiro elétrico | 9.651,26 | 8.137,22 | 7.046,45 | 5.641,94 | 4.547,41 |
| Aquecedor a gás individual - sem isolamento nos tubos | 28.695,00 | 24.689,71 | 24.664,32 | 19.044,11 | 13.476,06 |
| Solar com apoio elétrico - com isolamento nos tubos | 22.082,97 | 18.321,36 | 16.510,14 | 14.399,09 | 7.545,72 |
| Solar com apoio a gás - sem isolamento nos tubos | 16.476,78 | 13.981,00 | 13.614,58 | 12.392,68 | 5.210,82 |
| Solar com apoio a gás - com isolamento nos tubos | 16.166,00 | 13.718,93 | 13.330,36 | 12.234,94 | 5.038,99 |

Tabela 43 – Custo anual de operação dos sistemas de aquecimento de água para edifício multifamiliar de doze pavimentos

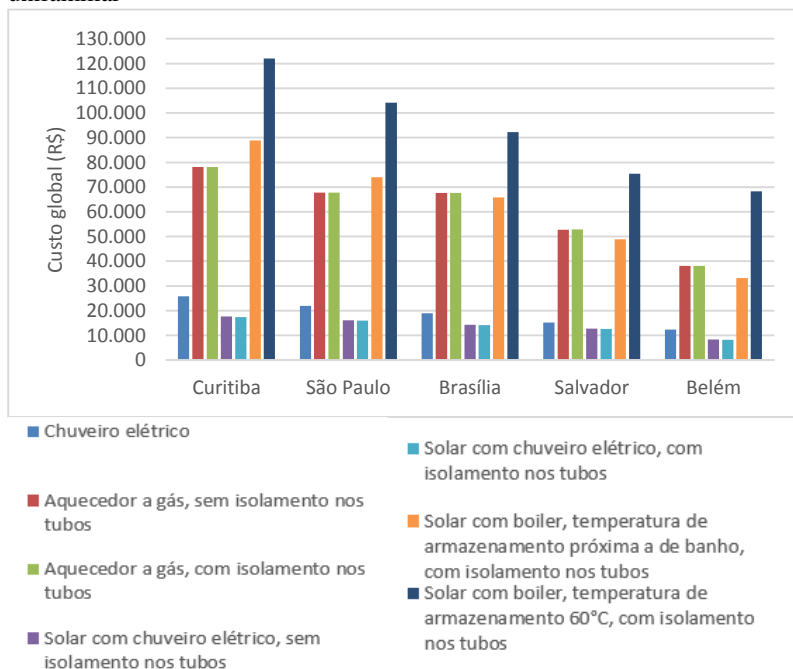
| Sistema | Preço total (R\$/ano) | | | | |
|---|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| Chuveiro elétrico | 28.953,77 | 24.411,65 | 21.139,36 | 16.925,81 | 13.642,23 |
| Aquecedor a gás individual - sem isolamento nos tubos | 86.085,00 | 74.069,13 | 73.992,95 | 57.132,34 | 40.428,19 |
| Solar com apoio elétrico - com isolamento nos tubos | 70.548,07 | 60.584,88 | 55.234,69 | 47.998,54 | 29.868,40 |
| Solar com apoio a gás - sem isolamento nos tubos | 59.104,92 | 50.878,07 | 50.982,62 | 41.902,72 | 22.897,71 |
| Solar com apoio a gás - com isolamento nos tubos | 58.216,06 | 47.418,51 | 50.011,50 | 40.938,00 | 21.581,21 |

4.6.3 Custo global

A Figura 56 apresenta o custo global calculado para os sistemas de aquecimento da residência unifamiliar. O custo global representa o valor total desembolsado pelo proprietário ao longo da vida útil do sistema (20 anos), incluindo os custos para instalação dos sistemas, os custos de reposição do chuveiro elétrico a cada cinco anos, e os custos de operação corrigidos pela inflação.

Para as cidades de São Paulo e Curitiba, o aquecedor a gás tem um custo total menor em relação ao aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório com temperatura de armazenamento próxima à de banho. Para Brasília, Salvador e Belém, a situação se inverte, e o aquecimento solar é mais barato que o a gás. Em todas as cidades, o aquecimento solar com chuveiro elétrico apresentou o menor custo global, mesmo que tenha um custo de investimento maior do que o sistema apenas com o chuveiro elétrico.

Figura 56 – Custo global dos sistemas de aquecimento de água para residência unifamiliar



Os custos globais dos sistemas dos edifícios de quatro e doze pavimentos são mostrados nas Figuras 57 e 58, respectivamente. Para as duas tipologias de edifício, e para todas as cidades analisadas, o chuveiro elétrico é o sistema com menor custo global, seguido do sistema solar com apoio a gás, solar com apoio elétrico, e o aquecedor a gás individual sendo o sistema com maior custo.

Figura 57 – Custo global dos sistemas de aquecimento de água para edificação multifamiliar de quatro pavimentos

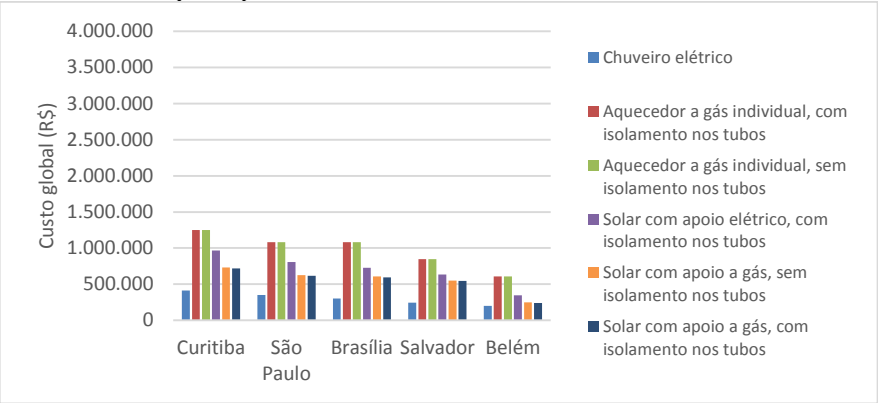
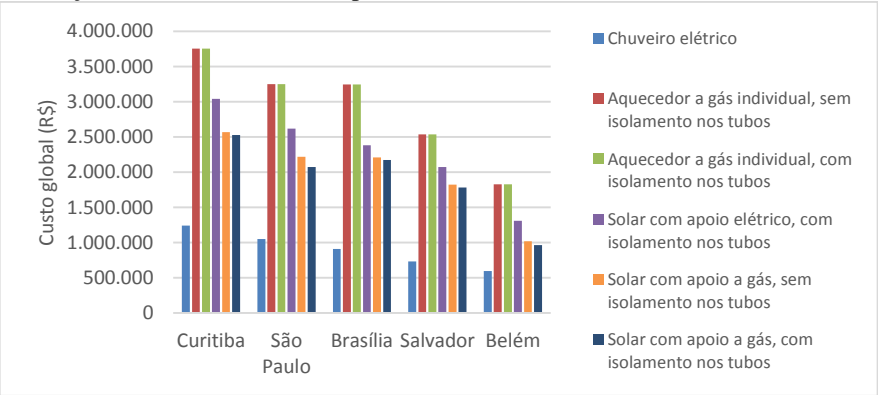


Figura 58 – Custo global dos sistemas de aquecimento de água para edificação multifamiliar de doze pavimentos

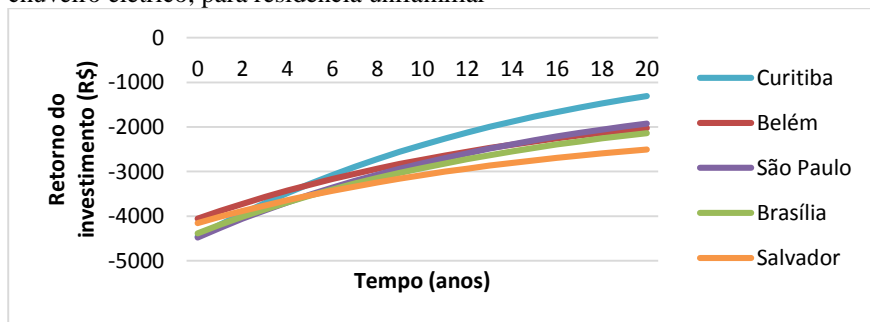


Considerando o período de 20 anos, correspondente a toda a vida útil dos sistemas, percebe-se que o custo global é influenciado principalmente pelo custo de operação. Sistemas com operação mais cara resultam em um maior custo global, mesmo considerando a reposição de equipamentos durante a vida útil. Desse modo, o custo de operação deve prevalecer em relação ao custo de investimento na escolha do tipo de aquecimento de água.

4.6.4 Análise de investimento

Para a residência unifamiliar, o sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico apresentou o menor gasto de eletricidade, levando a uma economia durante o uso em relação a um sistema apenas com chuveiro elétrico, que possui o menor custo de instalação. A Figura 59 mostra o retorno do investimento do sistema solar pela economia de energia durante a sua operação, em relação ao chuveiro elétrico. Percebe-se que para todas as cidades consideradas, o investimento não se paga durante a vida útil do sistema, de 20 anos. A economia anual proporcionada pelo aproveitamento da energia solar representa de 68% (para Curitiba) a 90% (para Belém) do consumo anual de eletricidade com o uso apenas do chuveiro elétrico. Entretanto, devido ao alto custo de instalação do aquecimento solar (mais de 40 vezes o valor do investimento do chuveiro elétrico), o tempo de retorno do investimento é bastante longo.

Figura 59 – Tempo de retorno de investimento do sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico, em comparação ao sistema apenas com chuveiro elétrico, para residência unifamiliar



A Tabela 44 mostra a taxa interna de retorno (TIR) calculada para o investimento em aquecimento solar com chuveiro elétrico, comparado com sistema apenas com chuveiro elétrico. Em todas as cidades, a TIR calculada foi menor do que a taxa SELIC (14,15%), o que representa que o investimento nesse sistema não é atrativo economicamente.

Tabela 44 – Taxa interna de retorno do sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico, em comparação ao sistema apenas com chuveiro elétrico, para residência unifamiliar

| Cidade | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Taxa interna de retorno (%) | 9,88 | 7,55 | 6,46 | 4,06 | 6,25 |

A utilização de isolamento térmico nas tubulações leva a uma economia pequena em relação ao consumo de energia dos sistemas. Entretanto, seu custo de instalação também é baixo. O tempo de retorno do custo de instalação do isolante térmico foi calculado com base na economia gerada pelo seu uso, comparando-se os custos do mesmo tipo de sistema com e sem isolamento.

A Figura 60 apresenta o tempo de retorno de investimento do isolante para o sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico na residência unifamiliar. A Figura 61 mostra os resultados para o sistema de aquecimento solar coletivo com apoio a gás para o edifício de quatro pavimentos, e a Figura 62, para o edifício de doze pavimentos. Como o tempo de retorno de capital encontrado foi curto, os resultados estão expressos em meses. O cálculo foi feito com base nos consumos mensais de eletricidade e gás, que variam ao longo do ano. As diferenças nas curvas de cada cidade se dão porque a diferença nos consumos de energia com e sem isolamento variam para cada clima e conforme a época do ano, e porque os preços das tarifas de energia e gás também variam entre as cidades.

O retorno de capital da instalação do isolante térmico é bastante rápido, principalmente nos casos em que ele se mostrou mais necessário para um bom desempenho (maiores comprimentos de tubulação e cidades mais frias). Para a residência unifamiliar com aquecimento solar e chuveiro elétrico, o investimento se paga em um período que varia de 11 a 21 meses, dependendo da cidade. Para os edifícios multifamiliares, o tempo de retorno é de poucos meses, ou de até menos de um mês para

sistemas de grande porte. Portanto, conclui-se que a instalação do isolamento térmico é viável economicamente, além de proporcionar um melhor desempenho do sistema e maior conforto do usuário.

Figura 60 – Tempo de retorno de investimento do isolamento térmico em sistema de aquecimento solar com chuveiro elétrico, para residência unifamiliar

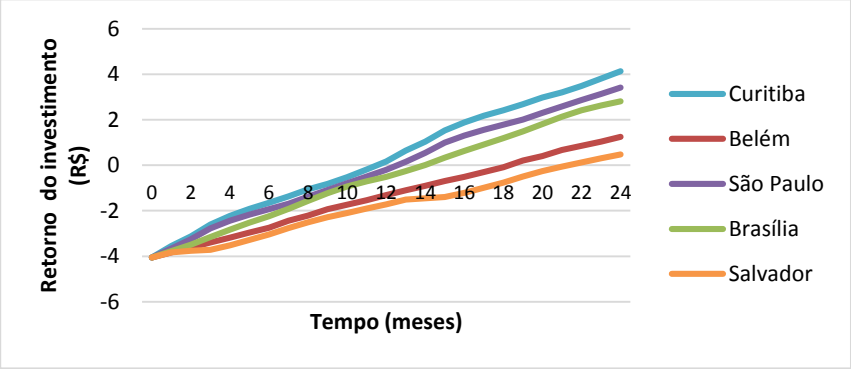


Figura 61 – Tempo de retorno de investimento do isolamento térmico em sistema de aquecimento solar com apoio a gás, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos

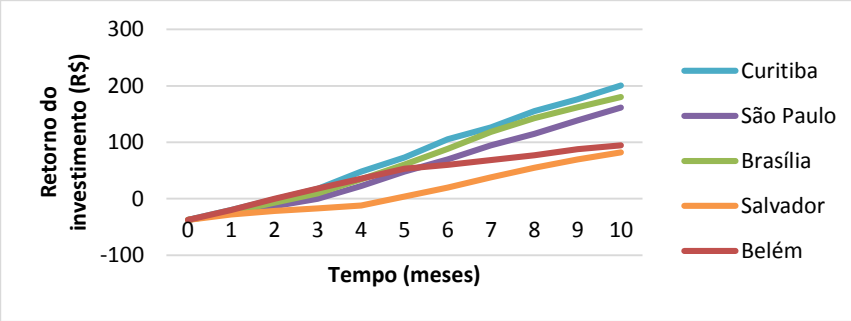
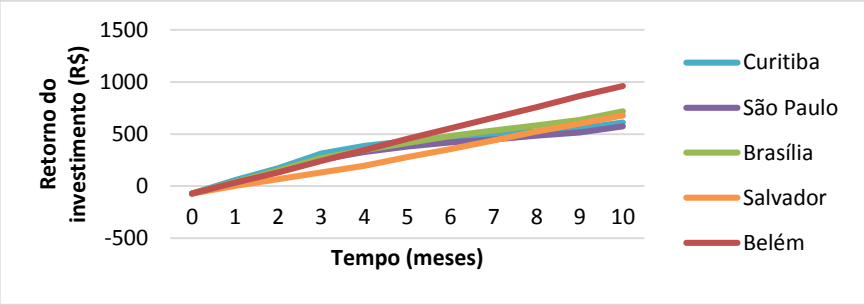


Figura 62 – Tempo de retorno de investimento do isolamento térmico em sistema de aquecimento solar com apoio a gás, para edifício multifamiliar de doze pavimentos



4.7 Comparação entre o consumo de energia primária e a avaliação de eficiência energética pelo RTQ-R

A Tabela 45 apresenta os consumos de energia primária para cada sistema avaliado para residência unifamiliar, em ordem crescente, e o nível de eficiência segundo o RTQ-R. Nesta tabela considerou-se o fator de conversão de eletricidade em energia primária como 1,46 (cenário atual).

Tabela 45 – Comparação entre o consumo de energia primária e o nível de eficiência segundo o RTQ-R, para residência unifamiliar

| Sistema | Consumo anual de energia primária (kWh) | | | | | Nível de eficiência |
|--|---|-----------|----------|----------|-------|--|
| | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | |
| Solar e chuveiro elétrico, banhos à noite, com isolamento | 280 | 209 | 97 | 37 | 13 | A |
| Solar e chuveiro elétrico, banhos à noite, sem isolamento | 297 | 226 | 116 | 42 | 20 | C |
| Solar e chuveiro elétrico, banhos de manhã, com isolamento | 436 | 370 | 258 | 81 | 63 | A |
| Solar e chuveiro elétrico, banhos de manhã, sem isolamento | 450 | 383 | 273 | 90 | 72 | C |
| Chuveiro elétrico | 1.343 | 1.199 | 1.119 | 682 | 645 | E (Curitiba, São Paulo, Brasília); D (Salvador, Belém) |
| Solar com resistência elétrica no reservatório, com isolamento térmico, T _{aquec} =T _{banho} , banhos à noite | 3.685 | 2.954 | 2.599 | 1.150 | 997 | A |
| Solar com resistência elétrica no reservatório, com isolamento térmico, T _{aquec} =T _{banho} , banhos de manhã | 4.040 | 3.374 | 3.121 | 1.283 | 1.170 | A |
| Aquecedor a gás, com isolamento térmico | 4.495 | 4.061 | 3.791 | 2.310 | 2.186 | A |

Tabela 45 – Comparação entre o consumo de energia primária e o nível de eficiência segundo o RTQ-R, para residência unifamiliar (continuação)

| Sistema | Consumo anual de energia primária (kWh) | | | | | Nível de eficiência |
|---|---|-----------|----------|----------|-------|---------------------|
| | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | |
| Aquecedor a gás, sem isolamento térmico | 4.495 | 4.061 | 3.791 | 2.310 | 2.186 | C |
| Solar com resistência elétrica no reservatório, com isolamento térmico, $T_{\text{amb}}=60^{\circ}\text{C}$, banhos à noite | 5.989 | 5.294 | 4.912 | 3.308 | 3.034 | A |
| Solar com resistência elétrica no reservatório, com isolamento térmico, $T_{\text{amb}}=60^{\circ}\text{C}$, banhos de manhã | 6.445 | 5.860 | 5.697 | 3.743 | 3.703 | A |

Na Tabela 46, são apresentados os consumos de energia primária, também considerando o cenário atual, para a edificação multifamiliar de quatro pavimentos. Os consumos estão apresentados em ordem crescente, com exceção de Curitiba, em que o chuveiro elétrico apresentou o menor consumo. Os resultados para o edifício de doze pavimentos são mostrados na Tabela 47.

Tabela 46 – Comparação entre o consumo de energia primária e o nível de eficiência segundo o RTQ-R, para residência multifamiliar de quatro pavimentos

| Sistema | Consumo anual de energia primária (kWh) | | | | | Nível de eficiência |
|--|---|-----------|----------|----------|--------|---|
| | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | |
| Solar com gás, com isolamento | 24.660 | 17.645 | 13.548 | 5.855 | 3.147 | A |
| Solar com gás, sem isolamento | 25.832 | 18.776 | 14.729 | 6.576 | 3.795 | C |
| Chuveiro elétrico | 21.483 | 19.183 | 17.904 | 10.916 | 10.328 | E (Curitiba, São Paulo, Brasília); D (Salvador, Belém) |
| Solar com resistência elétrica, com isolamento térmico | 36.934 | 29.100 | 25.458 | 12.953 | 9.869 | A |
| Aquecedor a gás com isolamento térmico | 71.923 | 64.977 | 60.651 | 36.965 | 34.974 | A |
| Aquecedor a gás sem isolamento térmico | 71.923 | 64.977 | 60.651 | 36.965 | 34.974 | C |

Tabela 47 – Comparação entre o consumo de energia primária e o nível de eficiência segundo o RTQ-R, para residência multifamiliar de doze pavimentos

| Sistema | Consumo anual de energia primária (kWh) | | | | | Nível de eficiência |
|--|---|-----------|----------|----------|---------|--|
| | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | |
| Chuveiro elétrico | 64.449 | 57.548 | 53.712 | 32.747 | 30.983 | E (Curitiba, São Paulo, Brasília); D (Salvador, Belém) |
| Solar com gás, com isolamento | 110.638 | 91.154 | 82.287 | 36.905 | 33.825 | A |
| Solar com gás, sem isolamento | 113.991 | 94.877 | 86.323 | 41.313 | 38.792 | C |
| Solar com resistência elétrica | 123.551 | 106.118 | 98.925 | 56.910 | 50.968 | A |
| Aquecedor a gás com isolamento térmico | 215.768 | 194.932 | 181.952 | 110.896 | 104.922 | A |
| Aquecedor a gás sem isolamento térmico | 215.768 | 194.932 | 181.952 | 110.896 | 104.922 | C |

A partir da análise e comparação do consumo de energia primária, verifica-se uma incoerência no método de classificação dos níveis de eficiência energética pelo RTQ-R. O chuveiro elétrico, que obtém o pior nível, tem o terceiro menor consumo de energia na maioria dos casos, e para edificação multifamiliar de doze pavimentos, e de quatro pavimentos em Curitiba, é a opção com menor consumo.

A não utilização do isolamento térmico nas tubulações, que interfere muito pouco no consumo energético para sistemas individuais, reduz o nível de eficiência de A para C. Para sistemas coletivos de edifícios multifamiliares, a diferença no consumo de um mesmo sistema com e sem isolamento é mais perceptível, mas não faz com que o consumo seja maior ou menor que outro tipo de sistema.

Por outro lado, parâmetros que não são abordados no RTQ-R mostraram ter grande impacto no consumo de energia, como o tipo de *backup* do sistema de aquecimento solar, vazão dos chuveiros e temperatura de armazenamento. Sistemas de acumulação programados para altas temperaturas de armazenamento consomem muita energia, mesmo sendo um aquecimento complementar à energia solar. Alguns trabalhos citados na revisão bibliográfica armazenam a água a 60°C como forma de combater a proliferação da bactéria *Legionella*. O RTQ-R não faz referência a meios de prevenção da *Legionella* e, portanto, não recomenda esta temperatura de armazenamento alta. Entretanto, também não limita a temperatura de banho ou de armazenamento.

O aquecedor a gás individual é classificado com nível A, mas em comparação aos outros sistemas, é o que leva ao maior consumo de energia primária na maioria dos casos. O gás é incentivado pelo RTQ-R

por ter um fator de conversão em energia primária menor do que a eletricidade. Entretanto, o consumo de energia primária também está relacionado com o gasto de energia final, que é significativo neste sistema com vazão elevada nos chuveiros, e sem a contribuição da energia solar. Por outro lado, caso o cenário da geração de eletricidade leve a fatores de conversão mais altos para energia elétrica, o gás pode ser uma alternativa interessante, como já ocorre em outros países.

4.8 Síntese da comparação entre os sistemas

Nesta seção, é apresentada uma síntese da avaliação comparativa entre os diferentes sistemas de aquecimento de água. Para cada tipologia de edificação, foram elaboradas tabelas com os diversos critérios considerados nas avaliações de desempenho. A Tabela 48 apresenta os resultados para a residência unifamiliar; a Tabela 49 mostra os resultados para o edifício multifamiliar de quatro pavimentos, e a Tabela 50, para o de doze pavimentos. Os sistemas foram listados conforme o seu desempenho: primeiro os que obtiveram os melhores resultados, até os que obtiveram o pior desempenho em cada critério, para cada cidade. A partir desses dados, é possível verificar, para cada localidade, qual o sistema que apresenta melhor desempenho em cada critério.

Em relação ao consumo de energia primária, a classificação foi apresentada considerando o cenário atual e o cenário mais crítico da geração de eletricidade, conforme apresentado na seção 4.3. O aquecimento solar com chuveiro elétrico é a opção que menos consome energia para a residência unifamiliar, mesmo considerando o cenário crítico para a eletricidade. Para as edificações multifamiliares, os sistemas com menor consumo de energia primária são o chuveiro elétrico e o aquecimento solar com gás.

O consumo de água considera o volume gasto durante os banhos, e os sistemas com chuveiro elétrico, que possui menor vazão, são mais eficientes quanto ao uso da água.

Nos sistemas que possuem tubulações para transporte da água quente do aquecedor ao chuveiro, o comprimento dos tubos influencia no desempenho dos sistemas. No critério “perdas térmicas e desperdício de água”, os sistemas foram classificados de acordo com a distância entre o aquecedor e o chuveiro. Maiores comprimentos de tubulação levam a perdas térmicas mais significativas na distribuição da água quente, reduzindo a temperatura da água de banho e podendo influenciar no consumo de energia. Além disso, quanto maior o comprimento das tubulações, maior o volume de água desperdiçado no início do banho,

caso essa água esteja em uma temperatura inferior à desejada. O chuveiro elétrico é o sistema com melhor desempenho nesse critério, porque não possui tubulações para transporte da água quente, visto que o aquecimento ocorre no próprio chuveiro.

Os sistemas foram classificados, ainda, quanto aos seus custos de instalação e de operação. O custo de operação representa o maior gasto durante a vida útil dos sistemas e, por isso, a classificação quanto ao custo global é a mesma que quanto ao custo de operação. O chuveiro elétrico é o sistema de instalação mais barata em todos os casos, e também mais econômico durante a operação em edifícios multifamiliares. Para a residência unifamiliar, o sistema solar com chuveiro elétrico tem o menor custo de operação e, conseqüentemente, o custo global mais baixo.

Tabela 48 – Sistemas de aquecimento de água com o melhor desempenho sob os aspectos analisados, para residência unifamiliar

| Cidade | Consumo de energia primária | | Consumo de água no banho | Perdas térmicas e desperdício de água | Custo de instalação | Custo de operação e custo global |
|-----------|--|--|---|--|--|--|
| | Cenário atual | Cenário crítico | | | | |
| Curitiba | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Aquecedor a gás 4) Solar com boiler 40°C 5) Solar com boiler 60°C | 1) Chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar com boiler | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar 3) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar com chuveiro elétrico 4) Solar com boiler 60°C 5) Solar com boiler 40°C | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Aquecedor a gás 4) Solar com boiler 40°C 5) Solar com boiler 60°C |
| São Paulo | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C | 1) Chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar com boiler | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar 3) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar com chuveiro elétrico 4) Solar com boiler 60°C 5) Solar com boiler 40°C | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Aquecedor a gás 4) Solar com boiler 40°C 5) Solar com boiler 60°C |

Tabela 48 – Sistemas de aquecimento de água com o melhor desempenho sob os aspectos analisados, para residência unifamiliar (continuação)

| Cidade | Consumo de energia primária | | Consumo de água no banho | Perdas térmicas e desperdício de água | Custo de instalação | Custo de operação e custo global |
|----------|--|--|---|--|--|--|
| | Cenário atual | Cenário crítico | | | | |
| Brasília | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C | 1) Chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar com boiler | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar 3) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar com chuveiro elétrico 4) Solar com boiler 60°C 5) Solar com boiler 40°C | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C |
| Salvador | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C | 1) Chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar com boiler | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar 3) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar com chuveiro elétrico 4) Solar com boiler 60°C 5) Solar com boiler 40°C | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C |
| Belém | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C | 1) Chuveiro elétrico e solar com chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar com boiler | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar 3) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar com chuveiro elétrico 4) Solar com boiler 60°C 5) Solar com boiler 40°C | 1) Solar com chuveiro elétrico 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 40°C 4) Aquecedor a gás 5) Solar com boiler 60°C |

Tabela 49 – Sistemas de aquecimento de água com o melhor desempenho sob os aspectos analisados, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos

| Cidade | Consumo de energia primária | | Consumo de água no banho | Perdas térmicas e desperdício de água | Custo de instalação | Custo de operação e custo global |
|-----------|---|---|--|--|---|---|
| | Cenário atual | Cenário crítico | | | | |
| Curitiba | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Solar com gás 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com boiler 3) Solar com gás 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás |
| São Paulo | 1) Solar com gás 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Solar com gás 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com boiler 3) Solar com gás 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás |
| Brasília | 1) Solar com gás 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Solar com gás 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com boiler 3) Solar com gás 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás |

Tabela 49 – Sistemas de aquecimento de água com o melhor desempenho sob os aspectos analisados, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos (continuação)

| Cidade | Consumo de energia primária | | Consumo de água no banho | Perdas térmicas e desperdício de água | Custo de instalação | Custo de operação e custo global |
|----------|---|---|--|--|---|---|
| | Cenário atual | Cenário crítico | | | | |
| Salvador | 1) Solar com gás 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Solar com gás 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás |
| Belém | 1) Solar com gás 2) Solar com boiler 2) Chuveiro elétrico 4) Aquecedor a gás | 1) Solar com gás 2) Solar com boiler 2) Chuveiro elétrico 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás |

Tabela 50 – Sistemas de aquecimento de água com o melhor desempenho sob os aspectos analisados, para edifício multifamiliar de doze pavimentos

| Cidade | Consumo de energia primária | | Consumo de água no banho | Perdas térmicas e desperdício de água | Custo de instalação | Custo de operação e custo global |
|-----------|---|---|--|--|---|---|
| | Cenário atual | Cenário crítico | | | | |
| Curitiba | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com boiler 3) Solar com gás 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás |
| São Paulo | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com boiler 3) Solar com gás 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás |
| Brasília | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com boiler 3) Solar com gás 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás |

Tabela 50 – Sistemas de aquecimento de água com o melhor desempenho sob os aspectos analisados, para edifício multifamiliar de doze pavimentos (continuação)

| Cidade | Consumo de energia primária | | Consumo de água no banho | Perdas térmicas e desperdício de água | Custo de instalação | Custo de operação e custo global |
|----------|---|---|--|--|---|---|
| | Cenário atual | Cenário crítico | | | | |
| Salvador | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Solar com gás 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com boiler 3) Solar com gás 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás |
| Belém | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Solar com gás 2) Chuveiro elétrico 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás e solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Aquecedor a gás 3) Solar | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com boiler 3) Solar com gás 4) Aquecedor a gás | 1) Chuveiro elétrico 2) Solar com gás 3) Solar com boiler 4) Aquecedor a gás |

5 Conclusões

Neste trabalho, foram analisados diferentes sistemas de aquecimento de água em residências unifamiliares e multifamiliares, para cinco cidades brasileiras de climas diferentes. Comparou-se o consumo de energia e de água em sistemas com chuveiro elétrico, aquecedor a gás instantâneo, e aquecimento solar com diferentes configurações e padrões de uso. Avaliou-se também o impacto da utilização de isolamento térmico nas tubulações de água quente no desempenho dos sistemas.

Como foi constatado na revisão da literatura, o desempenho do sistema de aquecimento de água é influenciado por fatores relacionados aos hábitos de uso, como temperatura de consumo, horário, frequência e duração dos banhos. Neste trabalho, estes parâmetros foram fixados de forma a comparar os diferentes sistemas. Caso fossem escolhidas outras características do sistema ou dos usuários, os resultados de desempenho do sistema e consumo de energia poderiam ser diferentes. Constatou-se que para o aquecimento solar, o sistema se mostra mais eficiente quando os banhos ocorrem à noite, em que a energia solar é melhor aproveitada. Foi possível observar também que, para os sistemas centralizados, quanto maior o intervalo entre os banhos, menor será a temperatura na saída da tubulação, levando a um maior desperdício de água. Essa condição pode ser minimizada pelo uso de isolantes térmicos, mas não impede que após algumas horas a temperatura na tubulação seja reduzida.

O chuveiro elétrico, conhecido por ser um dos sistemas que mais consome energia, apresentou um dos menores consumos anuais de energia primária e de água, principalmente por ter menor vazão. Representa, ainda, o menor custo de instalação e, na maioria dos casos, o menor custo de operação. Além disso, se mostra uma alternativa eficiente, principalmente para edifícios multifamiliares de grande porte, por não apresentar perdas térmicas no armazenamento e distribuição de água quente. No entanto, o problema do uso do chuveiro elétrico não está relacionado apenas com o consumo de energia, mas também com o aumento da demanda da rede no horário de pico. Através do uso de outras fontes de energia, como o gás, ou de sistemas com reservatório, evita-se o consumo de eletricidade no horário do banho, que geralmente coincide com o horário de pico. No caso de aquecimento solar com chuveiro elétrico, o pré-aquecimento da água pelos coletores faz com que a energia necessária seja menor, mesmo que o uso ocorra simultaneamente ao banho.

O aquecimento solar, incentivado em muitas pesquisas e políticas públicas como sendo uma opção eficiente e sustentável, pode não representar economia de energia dependendo da configuração do sistema. Como evidenciado em diversos estudos abordados na revisão da literatura, sistemas de acumulação são menos eficientes do que sistemas instantâneos. Mesmo com o uso da energia solar, os sistemas com o aquecedor dentro do reservatório levaram a um alto consumo de energia. Isso se deve às perdas térmicas e a necessidade de manter a temperatura da água no reservatório sempre dentro de uma faixa de temperatura pré-estabelecida, fazendo com que haja um gasto de energia em horários que não ocorre o uso de água quente. Soluções de automação, em que o sistema é controlado não só por limites de temperatura, mas também por horários pré-definidos, podem ser uma alternativa para reduzir o consumo e melhorar a eficiência.

Muitos estudos consideram que quanto maior a fração solar anual, mais eficiente é o sistema. É importante ressaltar que a fração solar corresponde à porcentagem da demanda anual de água quente que é atendida pelo aquecimento solar. A economia de energia na fase de operação deve ser calculada comparando-se o consumo do sistema convencional com o consumo do sistema de aquecimento que complementa o solar. Percebeu-se na revisão da literatura que diversos trabalhos consideraram a fração solar dimensionada como sendo a efetiva economia de energia pela utilização do sistema de aquecimento solar, enquanto que este estudo demonstrou que essa relação é equivocada. O cálculo da fração solar não considera nenhum aspecto do sistema de aquecimento suplementar, como eficiência, fonte de energia, e características do sistema como um todo. Neste trabalho, todos os sistemas foram dimensionados para atender uma fração solar de 70%. Em algumas comparações, como entre aquecimento solar com chuveiro elétrico e apenas chuveiro elétrico, a economia com o uso da energia solar foi próxima ou maior do que a fração solar calculada. Por outro lado, em muitos casos o sistema solar resultou em um consumo energético maior do que os sistemas convencionais.

Para que os sistemas de aquecimento solar realmente representem uma redução no consumo energético do país, as políticas públicas que incentivam estes sistemas devem estabelecer requisitos em relação à configuração e ao dimensionamento do sistema de aquecimento solar e de apoio. O Programa Minha Casa Minha Vida exige a utilização de aquecimento solar nas residências unifamiliares, mas proíbe que o aquecimento suplementar seja feito por resistência elétrica dentro do reservatório. O Termo de Referência do programa exige que o *backup*

seja feito por aquecedor a gás instantâneo ou chuveiro elétrico. Esta pesquisa mostrou que estes dois sistemas de *backup* resultam em um menor consumo de energia primária do que sistemas com resistência elétrica no reservatório. Outras políticas, no entanto, não levam o sistema de aquecimento de apoio em consideração. A lei nº 14.459/2007 de São Paulo, que obriga o aquecimento solar para diversos tipos de edifício, não apresenta nenhuma restrição quanto ao aquecimento suplementar. O RTQ-R considera o nível de eficiência do sistema de apoio na classificação final do sistema de aquecimento de água apenas quando o apoio é feito por aquecedores a gás. Quando o aquecimento suplementar é elétrico, a classificação é dada pelo nível de eficiência do aquecimento solar, mesmo que ocorra um alto consumo de eletricidade pelo sistema de apoio.

As diferentes vazões de chuveiro influenciam não apenas no consumo de água potável, mas também no consumo de energia. Uma das razões da grande diferença no consumo energético dos sistemas que utilizam o chuveiro elétrico em relação aos outros sistemas está na vazão adotada para o chuveiro e, conseqüentemente, na quantidade de água a ser aquecida. Ressalta-se que com a utilização de chuveiros elétricos de maior vazão, ou de duchas com vazão reduzida, poderia haver diferença nos resultados de consumo de energia primária. Optou-se por considerar essa diferença de vazões na análise porque muitas políticas públicas incentivam a substituição do chuveiro elétrico por outros tipos de aquecimento considerados mais eficientes. Percebe-se que para vazões de chuveiros existentes no mercado, essa substituição pode não ser adequada sob aspectos de economia de energia.

Constatou-se que o uso do isolante térmico tem um impacto pouco significativo no conforto do usuário, consumo de água e de energia, para pequenos comprimentos de tubulação. Todavia, para maiores comprimentos, como em sistemas coletivos de edifícios multifamiliares, percebe-se que o uso do isolamento melhora o desempenho. A utilização do isolante térmico não representa uma redução significativa nos custos de operação, mas seu custo de instalação é baixo e se paga rapidamente. Embora muitos estudos que calculam as perdas térmicas nas tubulações demonstrem uma diferença significativa nas perdas com e sem isolamento, estudos como o do NAHB (2010) mostraram que a eficiência do sistema como um todo não depende apenas dos materiais e comprimentos de tubulação, mas também de hábitos dos usuários, e que a redução das perdas térmicas não leva necessariamente a uma economia de energia. Esta conclusão também pode ser evidenciada nessa pesquisa, em que se percebeu uma

diferença maior de temperatura entre o aquecedor e a saída de água quente no primeiro banho, do que quando ocorrem banhos seguidos. Essa grande diferença de temperatura no primeiro banho é percebida mesmo com o uso do isolamento térmico.

No programa brasileiro de etiquetagem de edificações residenciais, o sistema de aquecimento de água é classificado com nível C quando não há isolamento térmico, independente do comprimento de tubulação ou temperatura do ar. Os resultados desse trabalho mostram que esse pré-requisito poderia ser diferenciado de acordo com a zona bioclimática e com os comprimentos de tubulação, de forma que a avaliação se aproxime do real impacto do isolamento térmico na eficiência do sistema. Estudos que mediram o desempenho dos sistemas de distribuição, como Bøhm (2013) e Cholewa et al. (2011), concluíram que grande parte da energia é desperdiçada nas tubulações. No entanto, estas edificações estão localizadas em países de clima muito frio, como Dinamarca e Polônia. Recomenda-se que sejam feitas medições em edifícios reais em operação, considerando o clima brasileiro, para verificar a influência do isolamento térmico no consumo de energia e de água.

Ainda em relação à etiquetagem de edificações, percebe-se que o regulamento penaliza o chuveiro elétrico com os piores níveis de eficiência, sendo que este sistema apresentou bons resultados nos diversos critérios de desempenho analisados neste trabalho. Sistemas como aquecedor a gás individual e aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório, que apresentaram um alto consumo de energia primária e possuem elevado custo de instalação e de operação, são classificados com nível A. Recomenda-se que os requisitos e a metodologia de avaliação do RTQ-R sejam revisados, de forma a incentivar a utilização de sistemas realmente eficientes, que proporcionem economia financeira para o usuário e redução do consumo energético do país.

5.1 Limitações

Este estudo limitou-se a comparar apenas alguns tipos de sistema de aquecimento de água, em apenas uma tipologia de unidade habitacional com o mesmo número de moradores. As análises foram realizadas para cinco cidades brasileiras, e os resultados estão limitados às características climáticas destas cidades.

Como este trabalho consiste em um estudo teórico baseado em simulações computacionais, podem-se citar limitações principalmente

quanto aos parâmetros adotados nos modelos. Os horários de banho foram definidos como os mesmos todos os dias, o que dificilmente ocorre na prática, e podem levar a diferenças no desempenho, principalmente nos sistemas de acumulação. Foi adotada a mesma temperatura de água fria para todo o mês, enquanto que na realidade essa temperatura varia ao longo do dia. Estes parâmetros foram fixados em todas as simulações, para a comparação de diferentes sistemas. A análise foi limitada também a chuveiros com apenas duas vazões.

O programa EnergyPlus não possibilita a modelagem de sistemas de aquecimento de água complexos com as configurações idênticas a de edifícios reais. É necessário fazer adaptações e simplificações da geometria do sistema para compatibilizar com os recursos do programa. O EnergyPlus simula apenas sistemas com circuito fechado, e foram simulados sistemas que foram dimensionados como circuitos abertos. Considerando os resultados para uma análise geral do desempenho energético de sistemas de aquecimento de água em edificações, o programa atendeu às necessidades. O EnergyPlus não considera parâmetros relacionados a perdas de cargas e pressão nos pontos, e estes parâmetros não foram considerados na análise.

Em sistemas com tubulações de água quente, não foi possível obter na simulação o consumo de água e energia desperdiçado no descarte da água fria até a chegada da água quente no chuveiro. Foi calculada a quantidade de água desperdiçada a partir do volume de água nas tubulações, considerando os pontos mais distantes (casos mais críticos). No entanto, não foi possível analisar o impacto desse desperdício no consumo anual de água e energia. Também não foi considerado o impacto no gasto de água pela utilização de válvulas anti-congelamento nos sistemas de aquecimento solar.

Este estudo analisou apenas o consumo de energia para aquecimento da água. O consumo de energia das bombas para circulação da água nos edifícios multifamiliares não foi avaliado. O gasto de energia destes equipamentos pode aumentar o consumo energético do sistema como um todo.

Em relação à análise de custos, esta pesquisa apresenta uma avaliação abrangente, e não detalhada. A análise apresenta limitações devido à dificuldade na obtenção de preços dos insumos com as características idênticas às consideradas nas simulações. Apresenta, ainda, limitações por não considerar custos de manutenção, e por considerar apenas um cenário de variação de preços ao longo da vida útil.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Analisar o consumo de energia primária dos sistemas de aquecimento de água considerando todo o ciclo de vida;
- Analisar o consumo de energia de diferentes tipos de sistemas através de medições em edificações reais;
- Verificar a influência de diferentes espessuras de isolamento térmico no desempenho do sistema;
- Averiguar a influência do isolamento térmico nas tubulações de água quente através de medições em edifícios reais, considerando o clima brasileiro;
- Verificar o consumo de energia das bombas para circulação da água em sistemas centrais, e a influência no desempenho do sistema;
- Estudar outras configurações de instalações de água quente e outros tipos de aquecimento de água, como bombas de calor.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL).

Conheça as tarifas da classe de consumo residencial de uma concessionária. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifaAplicada/index.cfm>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).

NBR 15220-3: Desempenho Térmico para Edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-3:** Desempenho Térmico para Edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 16057:** Sistema de aquecimento de água a gás (SAAG) – Projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 5626:** Instalações predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

ALTOÉ, L. **Análise técnico-econômica e ambiental da certificação brasileira do uso de aquecedores solares de água em edificações residenciais.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

ALTOÉ, L.; OLIVEIRA FILHO, D.; CARLO, J. C. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 13, p. 75-87, 2012.

AMANCO. **Manual Técnico Linha Amanco PPR.** Disponível em:

<http://www.amanco.com.br/web/image/texto/file/baixa_amco_atualizacao_manual_tecnico_amanco_PPR_2010_v11.pdf>. Acesso em: 01 out. 2014.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Disponível em:

<<http://www.bcb.gov.br>>. Acesso em: 22 set. 2015.

BATIDZIRAI, B.; LYSEN, E. H.; VAN EGMOND, S.; VAN SARK, W. G. J. H. M. *Potential for solar water heating in Zimbabwe*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.I.], v. 13, p. 567–582, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2008.01.001>>. Acesso em: 01 set. 2014.

BIAOU, A. L.; BERNIER, M. A. *Achieving total domestic hot water production with renewable energy*. **Building and Environment**, [S.I.], v. 43, n. 4, p. 651–660, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.032>>. Acesso em: 13 jul. 2014.

BOAIT, P. J.; DIXON, D.; FAN, D.; STAFFORD, A. *Production efficiency of hot water for domestic use*. **Energy and Buildings**, [S.I.], v. 54, p. 160–168, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.011>>. Acesso em: 01 set. 2014.

BØHM, B. *Production and distribution of domestic hot water in selected Danish apartment buildings and institutions: analysis of consumption, energy efficiency and the significance for energy design requirements of buildings*. **Energy Conversion and Management**, [S.I.], v. 67, p. 152–159, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.002>>. Acesso em: 01 set. 2014.

BORGSTEIN, E. **Energia primária em edifícios no Brasil**. Sistemas Prediais, janeiro de 2014, p. 34 a 37. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2014: ano-base 2013. Relatório Final**. 2014a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Série Estudos da Demanda de Energia. Nota Técnica**

DEA 13/14. Demanda de Energia 2050. Rio de Janeiro, 2014b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Séries Históricas Completas.** Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>>. Acesso em: 17 jun. 2015.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Programa minha casa minha vida. Termo de referência. Sistemas de aquecimento solar de água – SAS.** Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/Downloads/desenvolvimento-urbano-gestao-ambiental/TR_SAS_MCMV2.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2015.

CASSARD, H.; DENHOLM, P.; ONG, S. *Technical and economic performance of residential solar water heating in the United States. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.I.], v. 15, n. 8, p. 3789–3800, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.016>>. Acesso em: 13 jul. 2014.

CHAGURI JUNIOR, J. J. **Sistemas prediais de aquecimento de água a gás: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Aspectos da construção sustentável no brasil e promoção de políticas públicas.** Versão 1, 2014. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/MMA-Pnuma/Aspectos%20da%20Construcao%20Sustentavel%20no%20Brasil%20e%20Promocao%20de%20Políticas%20Publicas.pdf>. Acesso em: 22 out. 2015.

CHOLEWA, T.; SIUTA-OLCHA, A.; SKWARCZYŃSKI, M. A. *Experimental evaluation of three heating systems commonly used in the residential sector. Energy and Buildings*, [S.I.], v. 43, n.9, p. 2140–2144, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.026>>. Acesso em: 13 jul. 2014.

CHOW, T. T.; FONG, K. F.; CHAN, A. L. S.; LIN, Z. *Potential application of a centralized solar water-heating system for a high-rise*

residential building in Hong Kong. Applied Energy, [S.I.], v. 83, p. 42–54, 2006.

COLMENAR-SANTOS, A.; VALE-VALE, J.; BORGE-DIEZ, D.; REQUENA-PÉREZ, R. *Solar thermal systems for high rise buildings with high consumption demand: case study for a 5 star hotel in Sao Paulo, Brazil. Energy and Buildings*, [S.I.], v. 69, p. 481-489, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.036>>. Acesso em: 01 set. 2014.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO (COMGÁS); ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PELA CONFORMIDADE E EFICIÊNCIA DE INSTALAÇÕES (ABRINSTAL). **Sistemas de aquecimento de água para edifícios através da associação energia solar e gás natural. Manual técnico para projeto e construção de sistemas de aquecimento solar & gás natural.** [S.I.], 2011. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Manual_Tecnico_para_Projeto_e_Construcao_de_Sistemas_de_Aquecimento_Solar_e_Gas_Natural.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2014.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (CAESB). **Tarifas e preços.** Disponível em: <<http://www.caesb.df.gov.br/tarifas-e-precos.html>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Comunicado 04/15.** Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/clientes_servicos/comunicado_04_2015.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2015.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (COSANPA). **Tarifas.** Disponível em: <<http://www.cosanpa.pa.gov.br/index.php/acesso-a-informacao/2013-06-20-08-52-12>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR). **Tabela de tarifas de saneamento básico.** Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/clientes2012/dcretotabelaset2015.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. (ELETROBRAS). **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: ano base 2005 -**

Classe residencial. Relatório Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2007.

EMPRESA BAIANA DE ÁGUAS E SANEAMENTO S.A.

(EMBASA). **Tarifas**. Disponível em:

<<http://www.embasa.ba.gov.br/centralservicos/index.php/tarifas?informacoes=sim>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

ENERGYPLUS. **Input Output Reference**: the encyclopedic reference to energyplus input and output. University of Illinois and Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory, 2013.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus Engineering Reference**: the reference to energyplus calculations. University of Illinois and Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory, 2014.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, [S.I.], v. 35, n. 8, p. 4107–4120, 2007. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.02.020>>. Acesso em: 12 out. 2014.

GIGLIO, T. G. F. **Influência do usuário na economia de energia obtida por meio do uso de sistema de aquecimento solar de água em habitações de interesse social**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

GIGLIO, T.; LAMBERTS, R.; BARBOSA, M.; URBANO, M. A *procedure for analysing energy savings in multiple small solar water heaters installed in low-income housing in Brazil*. **Energy Policy**, v. 72, p. 43–55, 2014. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.036>. Acesso em: 06 jan. 2015.

GU, L. *A simplified hot water distribution system model*. In: 10th INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION CONFERENCE AND EXHIBITION, set. 2007, Beijing, China. Disponível em:

<<http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-PF-429-07.pdf>>. Acesso em: 01 out. de 2014.

GUSTAVSSON, L.; JOELSSON, A. *Life cycle primary energy analysis of residential buildings*. **Energy and Buildings**, [S.I.], v. 42, n. 2, p. 210–220, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.017>>. Acesso em: 12 out. 2014.

GUSTAVSSON, L.; JOELSSON, A.; SATHRE, R. *Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building*. **Energy and Buildings**, [S.I.], v. 42, p. 230–242, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.018>>. Acesso em: 01 set. 2014.

HAN, Y. M.; WANG, R. Z.; DAI, Y. J. *Thermal stratification within the water tank*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.I.], v. 13, n. 5, p. 1014–1026, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2008.03.001>>. Acesso em: 12 out. 2014.

HANG, Y.; QU, M.; ZHAO, F. *Economic and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States*. **Energy and Buildings**, [S.I.], v. 45, p. 181–188, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.057>>. Acesso em: 22 nov. 2014.

HEPBASLI, A.; KALINCI, Y. *A review of heat pump water heating systems*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.I.], v. 13, p. 1211–1229, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.002>>. Acesso em: 26 set. 2014.

HERNANDEZ, P.; KENNY, P. (2012). *Net energy analysis of domestic solar water heating installations in operation*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.I.], v. 16, p. 170–177, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.144>>. Acesso em: 13 jul. 2014.

HOBBI, A.; SIDDIQUI, K. *Optimal design of a forced circulation solar water heating system for a residential unit in cold climate using TRNSYS*. **Solar Energy**, [S.I.], v. 83, p. 700–714, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.018>>. Acesso em: 12 out. 2014.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (HSE). *Legionnaire's disease. The control of legionella bacteria in water systems*. 4. ed., Reino Unido, 2013. Disponível em: <<http://www.hse.gov.uk/Pubns/priced/l8.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2014.

IBRAHIM, O.; FARDOUN, F.; YOUNES, R.; LOUAHLIA-GUALOUS, H. *Review of water heating systems: general selection approach based on energy and environmental aspects*. **Building and Environment**, [S.I.], 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.09.006>>. Acesso em: 01 set. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2011-2012**. Tabela 6.1-a. Rio de Janeiro, [2013?]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2012/sintese_defaultxls.shtm>. Acesso em: 12 out. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE); CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI**. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx#categoria_664>. Acesso em: 04 ago. 2015.

ILHA, M. S. O.; GONÇALVES, O. M.; KAVASSAKI, Y. **Sistemas prediais de água quente**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1994. (Texto Técnico, Departamento de Engenharia de Construção Civil; TT/PCC/09).

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, [199-?]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Portaria nº 18**: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **Tabela de consumo de energia elétrica:** aquecedores de água a gás instantâneos: 2015. 2015a. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/aquecedorAgua_2015.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2015.

_____. **Tabela de consumo de energia elétrica:** chuveiros elétricos: edição 06/2014. 2014. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/chuveiro.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

_____. **Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água:** coletores solares: edição 02/2015. 2015b. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

ISLAM, R. M.; SUMATHY, K.; KHAN, S. U. *Solar water heating systems and their market trends*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.I.], v. 17, p. 1–25, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.011>>. Acesso em: 03 mar. 2014.

KALOGIROU, S. *Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters*. **Solar Energy**, [S.I.], v. 83, p. 39-48, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2008.06.005>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

KAYNAKLI, O. A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.I.], 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.006>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

KULB, J. R.; PEREIRA, L. T.; MESQUITA, L. **Projetando sistemas de aquecimento solar para habitações multifamiliares**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br/wp-content/uploads/2014/04/Manual-Projetando-Sistemas-de-Aquecimento-Solar-para-Habita%C3%A7%C3%B5es-Multifamiliares1.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE. **Arquivos climáticos em formato EPW**. Disponível em: <<http://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>.

Acesso em: 01 nov. 2014.

LI, D.; LIAO, S. *An integrated approach to evaluate the performance of solar water heater in the urban environment*. **Energy and Buildings**, [S.I.], v. 69, p. 562–571, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.044>>. Acesso em: 01 set. 2014.

LIMA, J. B. A.; PRADO, R. T.; TABORIANSKI, V. M. *Optimization of tank and flat-plate collector of solar water heating system for single-family households to assure economic efficiency through the TRNSYS program*. **Renewable Energy**, [S.I.], v. 31, p. 1581–1595, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2005.09.006>>. Acesso em: 12 out. 2014.

LUTZ, J. *Estimating energy and water losses in residential hot water distribution systems*. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, 2005. Disponível em: <<http://www.allianceforwaterefficiency.org/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=2252>>. Acesso em: 01 set. 2014.

MAGUIRE, J.; FANG, X.; WILSON, E. *Comparison of advanced residential water heating technologies in the United States*. National Renewable Energy Laboratory: Technical report, Golden (CO), 2013. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/building_america/comparison_water_heating_tech.pdf>. Acesso em: 01 set. 2014.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. *Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil*. **Ambiente Construído**, [S.I.], v. 5, n.4, p. 47–68, 2005.

NATIONAL ASSOCIATION OF HOME BUILDERS RESEARCH CENTER (NAHB). **Domestic hot water system piping insulation: analysis of benefits and cost**. Report #5928-3_12292010. Upper Malboro (MD), 2010. Disponível em: <<http://www.homeinnovation.com/~media/Files/Reports/Domestic%20Hot%20Water%20System%20Piping%20Insulation%20-%20Final%20Report.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2014.

NASPOLINI, H. F.; RÜTHER, R. *Assessing the technical and economic viability of low-cost domestic solar hot water systems (DSHWS) in low-income residential dwellings in Brazil*. **Renewable Energy**, [S.I.], v. 48, p. 92-99, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.046>>. Acesso em: 17 out. 2014.

NASPOLINI, H. F.; MILITÃO, H. S. G.; RÜTHER, R. *The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil*. **Energy Conversion and Management**, [S.I.], v. 51, n. 12, p. 2835–2845, 2010.

POLIPEX. **Ficha técnica de produto**. São José, 2014. Disponível em: <http://www.polipex.com.br/_pics/_produtos/_polipex_isolantes/_ft/FT_Polipex_REV10.pdf>. Acesso em: 01 out. 2014.

PORTAL BRASIL. **Índice nacional de preços ao consumidor amplo (IPCA)**. Disponível em: <<http://www.portalbrasil.net/ipca.htm>>. Acesso em 13 set. 2015.

RIO DE JANEIRO. Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro. **Lei nº 5.184 de 02/01/2008**. Disponível em: <<http://www.alerj.rj.gov.br/processo2.htm>>. Acesso em: 01 out. 2014.

ROSSI, B.; MARIQUE, A.-F.; GLAUMANN, M.; REITER, S. (2012). *Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool*. **Building and Environment**, v. 51, p. 395–401. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.017>>. Acesso em: 08 nov. 2014.

ROULLEAU, T.; LLOYD, C. R. *International policy issues regarding solar water heating, with focus on New Zealand*. **Energy Policy**, [S.I.], v. 36, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.01.030>>. Acesso em: 01 out. 2014.

SANTOS, A. H. C. **Eficiência Energética e a Contribuição dos Gases Combustíveis: Análise de caso das políticas de avaliação de edificações**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SANTOS, A. H. C. **Fatores de conversão da eletricidade – Brasil.** Mensagem recebida por julimaysangoi@hotmail.com em 17 jun. 2015.

SANTOS, A. H. C.; FAGÁ, M. T. W.; SANTOS, E. M. *The risks of an energy efficiency policy for buildings based solely on the consumption evaluation of final energy.* **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, [S.I.], v. 44, p. 70–77, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.07.017>>. Acesso em: 19 jul. 2014.

SÃO PAULO. Câmara Municipal de São Paulo. **Lei nº 14.459 de 03, de julho de 2007.** Disponível em: <http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridico/s/cadlem/integra.asp?alt=04072007L%20144590000>. Acesso em: 01 out. 2014.

SHI, J.; SU, W.; ZHU, M.; CHEN, H.; PAN, Y.; WAN, S.; WANG, Y. *Solar water heating system integrated design in high-rise apartment in China.* **Energy and Buildings**, [S.I.], v. 58, p. 19–26, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.018>>. Acesso em: 12 out. 2014.

SHUKLA, R.; SUMATHY, K.; ERICKSON, P.; GONG, J. *Recent advances in the solar water heating systems: a review.* **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.I.], v. 19, p. 173–190, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.048>>. Acesso em: 12 out. 2014.

SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (SINDIGÁS). **Guia de eficiência energética em edificações. Contribuição do Gás LP.** Disponível em: <http://www.pbgedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/guia_web.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2014.

TABORIANSKI, V. M. **Avaliação da contribuição das tipologias de aquecimento de água residencial para a variação dos balanços de gases de efeito estufa na atmosfera.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2002.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **EnergyPlus Energy Simulation Software.** Disponível em: <<http://www.energyplus.gov>>.

Acesso em: 17 out. 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). Laboratório de Energia Solar (LABSOL). **Radiasol2**. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

VECHI, M. **Avaliação de Ciclo de Vida de Sistemas de Aquecimento de Água para Aprimoramento do Processo de Etiquetagem do RTQ-R**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

VIEIRA, A. S.; BEAL, C. D.; STEWART, R. A. *Residential water heaters in Brisbane, Australia: thinking beyond technology selection to enhance energy efficiency and level of service*. **Energy and Buildings**, [S.I.], v. 82, p. 222–236, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.007>>. Acesso em: 01 set. 2014.

WANG, Z.; YANG, W.; QIU, F.; ZHANG, X.; ZHAO, X. *Solar water heating: From theory, application, marketing and research*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.I.], v. 41, p. 68–84, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.026>>. Acesso em: 01 set. 2014.

WENDT, R.; BASKIN, E.; DURFEE, D. ***Evaluation of Residential Hot Water Distribution Systems by Numeric Simulation***. Final Report, 2004. Buildings Technology Center Oak Ridge National Laboratory Oak Ridge, Tennessee.

WIEHAGEN, J.; SIKORA, J. L. *Performance Comparison of Residential Hot Water Systems*. **National Renewable Energy Laboratory**, Report Number NREL/SR-550-32922, Golden (CO), 2003. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/32922.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2014.

YAN, C.; WANG, S.; MA, Z.; SHI, W. *A simplified method for optimal design of solar water heating systems based on life-cycle energy analysis*. **Renewable Energy**, [S.I.], v. 74, p. 271–278, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.021>>. Acesso em: 12 out. 2014.

Apêndice A - Consumo de energia final dos sistemas de aquecimento de água da residência multifamiliar de doze pavimentos

1) Sistemas que utilizam eletricidade

Figura 63 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade para residência multifamiliar de doze pavimentos em Curitiba

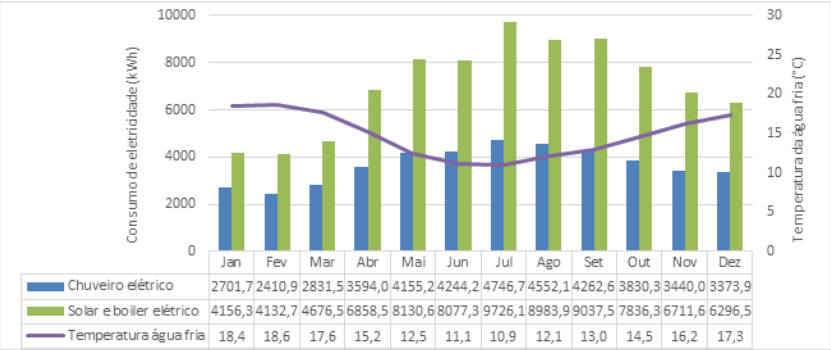


Figura 64 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade para residência multifamiliar de doze pavimentos em São Paulo

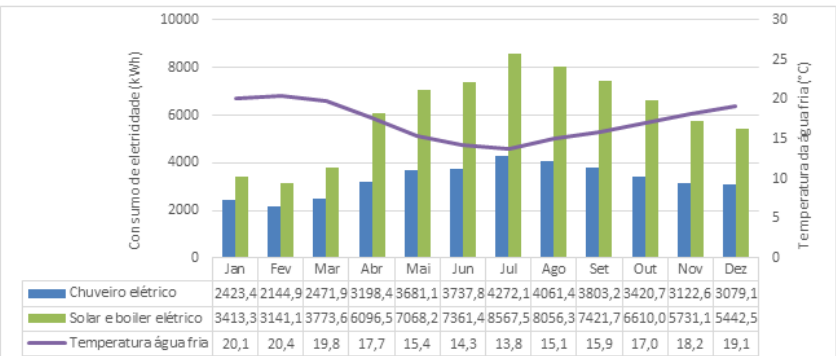


Figura 65 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade para residência multifamiliar de doze pavimentos em Brasília

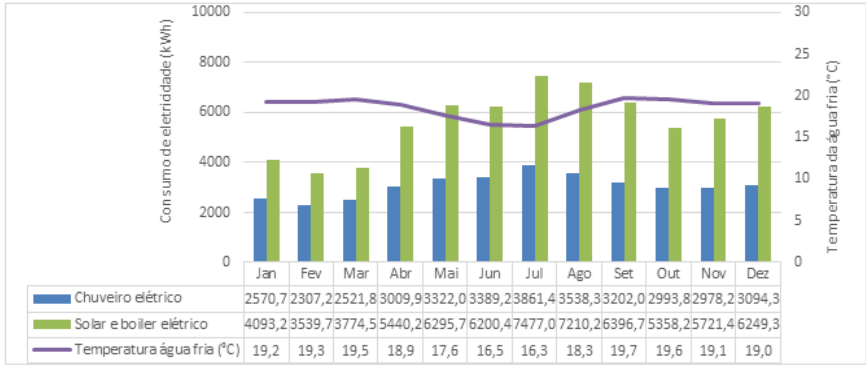


Figura 66 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade para residência multifamiliar de doze pavimentos em Salvador

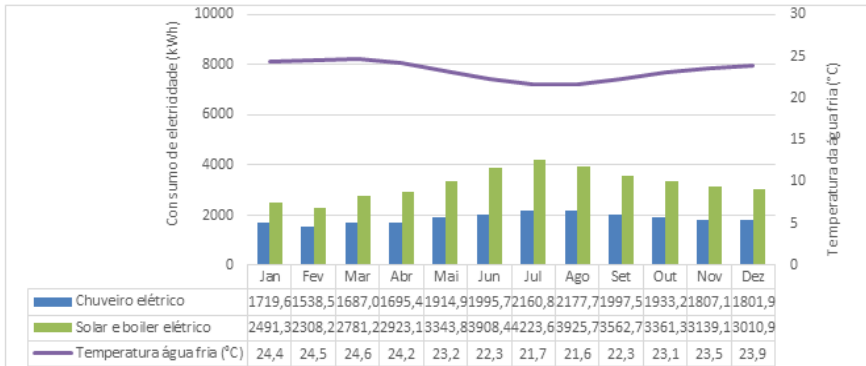
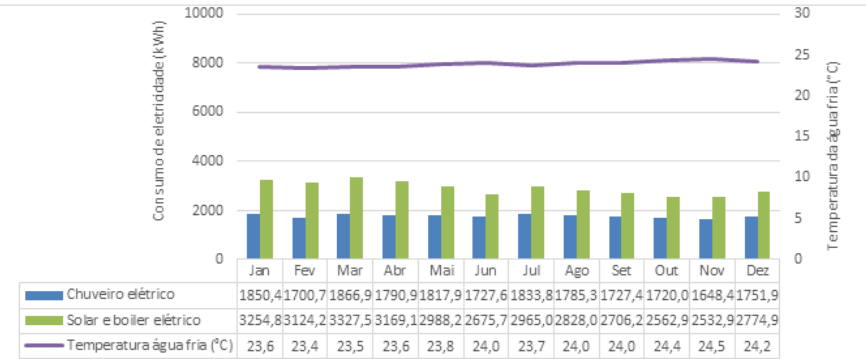
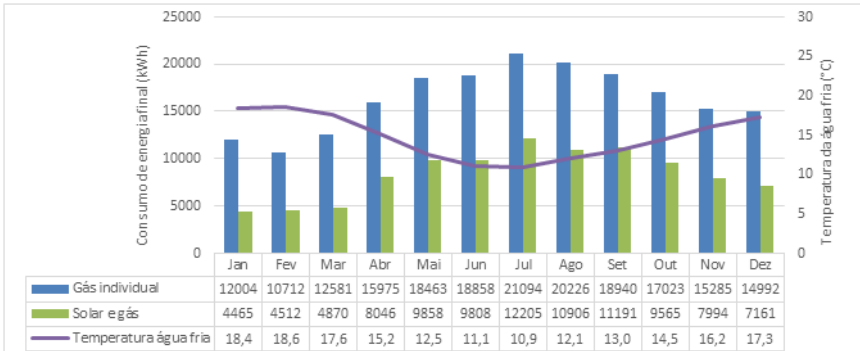


Figura 67 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam eletricidade para residência multifamiliar de doze pavimentos em Belém



2) Sistemas que utilizam gás combustível

Figura 68 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de doze pavimentos em Curitiba



residencia multifamiliar de doze pavimentos em Sao Paulo

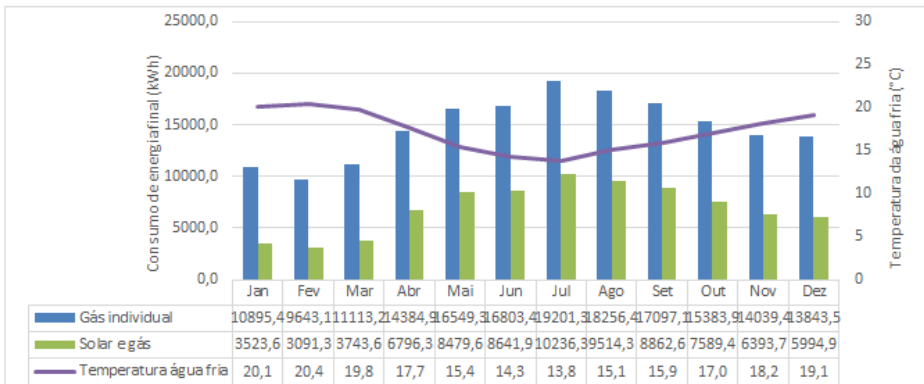


Figura 70 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de doze pavimentos em Brasília

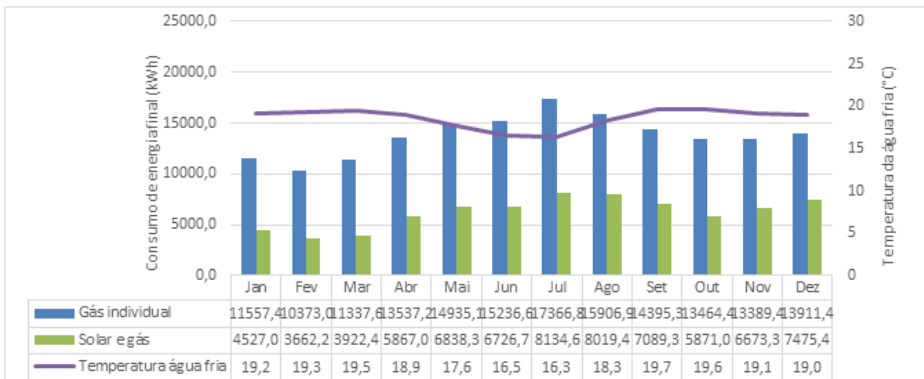


Figura 71 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de doze pavimentos em Salvador

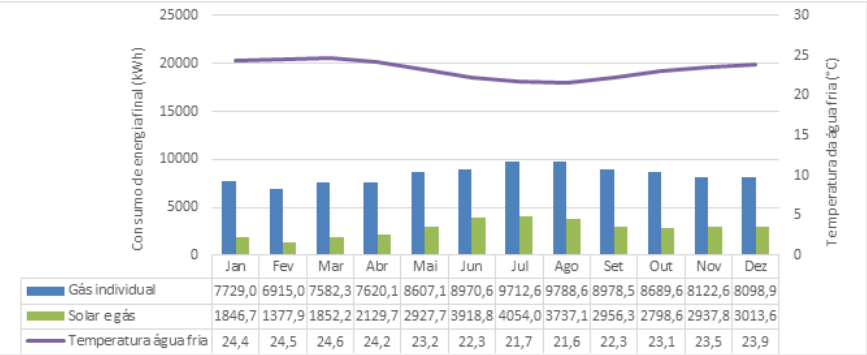
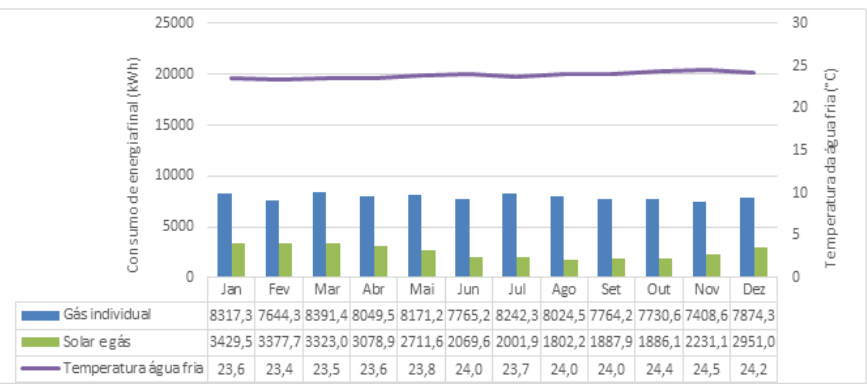


Figura 72 – Consumo de energia final dos sistemas que utilizam gás para residência multifamiliar de doze pavimentos em Belém



Apêndice B - Variação da temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento a gás em residência unifamiliar

1) São Paulo

Figura 73 – Variação na temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento a gás em residência unifamiliar em São Paulo

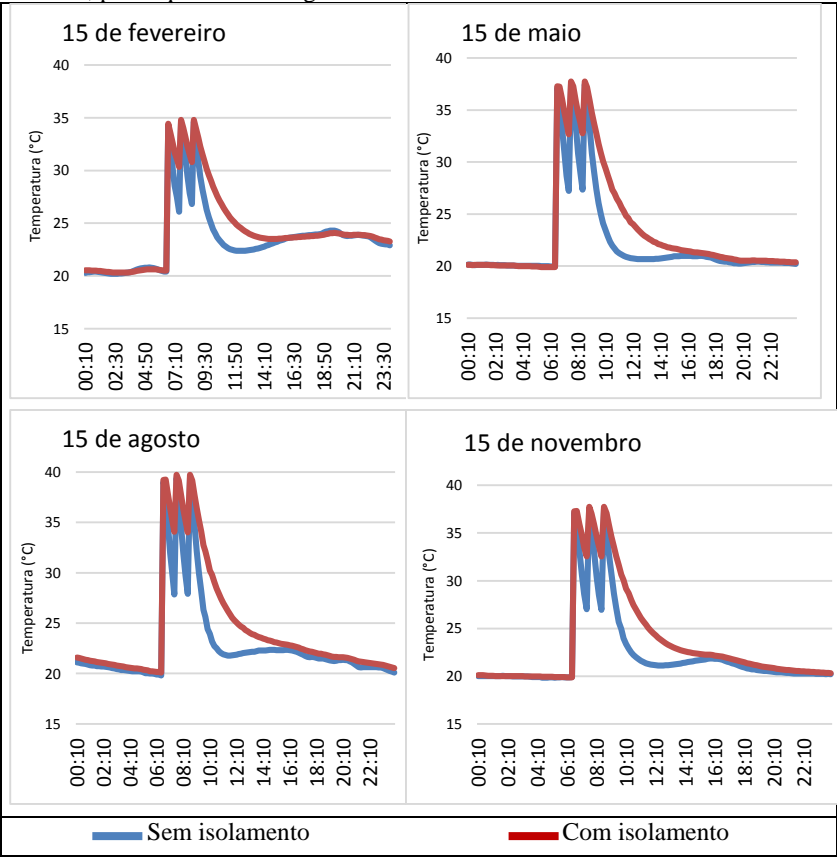


Tabela 51 – Temperatura na saída do tubo de água quente no horário do banho, para aquecimento a gás residência unifamiliar em São Paulo

| Hora do banho | Temperatura desejada (°C) | Temperatura sem isolamento (°C) | Temperatura com isolamento (°C) | Diferença entre a temperatura com e sem isolamento (°C) |
|----------------------|----------------------------------|--|--|--|
| 15/fev 06:40 | 35 | 34,32 | 34,44 | 0,12 |
| 15/fev 07:40 | 35 | 34,59 | 34,79 | 0,20 |
| 15/fev 08:40 | 35 | 34,62 | 34,81 | 0,19 |
| 15/mai 06:40 | 38 | 37,14 | 37,28 | 0,14 |
| 15/mai 07:40 | 38 | 37,47 | 37,74 | 0,27 |
| 15/mai 08:40 | 38 | 37,48 | 37,74 | 0,27 |
| 15/ago 06:40 | 40 | 39,03 | 39,21 | 0,17 |
| 15/ago 07:40 | 40 | 39,40 | 39,71 | 0,31 |
| 15/ago 08:40 | 40 | 39,40 | 39,71 | 0,30 |
| 15/nov 06:40 | 38 | 37,13 | 37,28 | 0,15 |
| 15/nov 07:40 | 38 | 37,46 | 37,74 | 0,28 |
| 15/nov 08:40 | 38 | 37,47 | 37,74 | 0,28 |

2) Brasília

Figura 74 – Variação na temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento a gás em residência unifamiliar em Brasília.

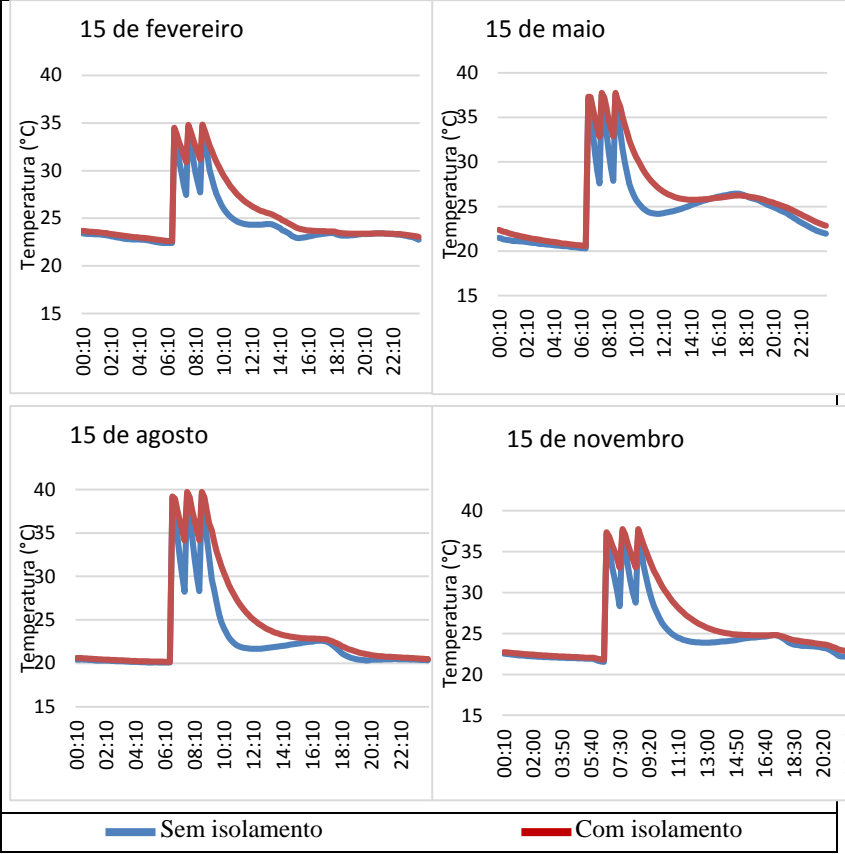


Tabela 52 – Temperatura na saída do tubo de água quente no horário do banho, para aquecimento a gás residência unifamiliar em Brasília

| Hora do banho | Temperatura desejada (°C) | Temperatura sem isolamento (°C) | Temperatura com isolamento (°C) | Diferença entre a temperatura com e sem isolamento (°C) |
|----------------------|----------------------------------|--|--|--|
| 15/fev 06:40 | 35 | 34,41 | 34,52 | 0,10 |
| 15/fev 07:40 | 35 | 34,65 | 34,82 | 0,17 |
| 15/fev 08:40 | 35 | 34,67 | 34,83 | 0,17 |
| 15/mai 06:40 | 38 | 37,17 | 37,31 | 0,14 |
| 15/mai 07:40 | 38 | 37,49 | 37,75 | 0,26 |
| 15/mai 08:40 | 38 | 37,52 | 37,76 | 0,24 |
| 15/ago 06:40 | 40 | 39,05 | 39,21 | 0,16 |
| 15/ago 07:40 | 40 | 39,42 | 39,72 | 0,29 |
| 15/ago 08:40 | 40 | 39,43 | 39,72 | 0,29 |
| 15/nov 06:40 | 38 | 37,22 | 37,36 | 0,14 |
| 15/nov 07:40 | 38 | 37,55 | 37,78 | 0,23 |
| 15/nov 08:40 | 38 | 37,57 | 37,78 | 0,22 |

3) Salvador

Figura 75 – Variação na temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento a gás em residência unifamiliar em Salvador

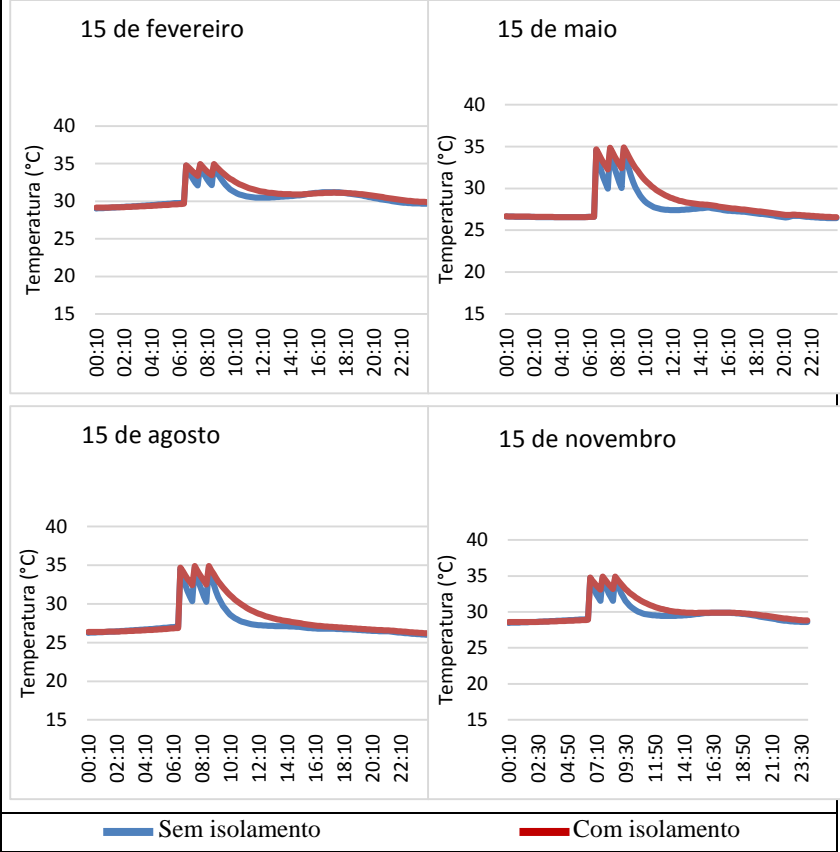


Tabela 53 – Temperatura na saída do tubo de água quente no horário do banho, para aquecimento a gás residência unifamiliar em Salvador

| Hora do banho | Temperatura desejada (°C) | Temperatura sem isolamento (°C) | Temperatura com isolamento (°C) | Diferença entre a temperatura com e sem isolamento (°C) |
|----------------------|----------------------------------|--|--|--|
| 15/fev 06:40 | 35 | 34,75 | 34,79 | 0,04 |
| 15/fev 07:40 | 35 | 34,86 | 34,93 | 0,07 |
| 15/fev 08:40 | 35 | 34,86 | 34,93 | 0,06 |
| 15/mai 06:40 | 35 | 34,60 | 34,67 | 0,07 |
| 15/mai 07:40 | 35 | 34,77 | 34,88 | 0,11 |
| 15/mai 08:40 | 35 | 34,77 | 34,88 | 0,11 |
| 15/ago 06:40 | 35 | 34,62 | 34,68 | 0,06 |
| 15/ago 07:40 | 35 | 34,78 | 34,89 | 0,10 |
| 15/ago 08:40 | 35 | 34,78 | 34,89 | 0,11 |
| 15/nov 06:40 | 35 | 34,71 | 34,76 | 0,04 |
| 15/nov 07:40 | 35 | 34,84 | 34,91 | 0,08 |
| 15/nov 08:40 | 35 | 34,84 | 34,92 | 0,08 |

Apêndice C - Variação da temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento central solar com apoio a gás em residência multifamiliar de quatro pavimentos

1) Curitiba

Tabela 54 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de fevereiro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,40 | 41,01 | 38,65 | 1,39 | 3,75 | 42,39 | 41,26 | 39,22 | 1,13 | 3,17 |
| 06:40 | 42,28 | 41,87 | 40,85 | 0,42 | 1,44 | 42,28 | 42,10 | 41,54 | 0,18 | 0,74 |
| 07:10 | 42,15 | 41,83 | 41,04 | 0,32 | 1,11 | 42,31 | 42,17 | 41,81 | 0,14 | 0,50 |
| 07:40 | 41,72 | 41,47 | 40,75 | 0,25 | 0,97 | 42,06 | 41,96 | 41,68 | 0,10 | 0,38 |
| 08:10 | 41,14 | 40,91 | 40,34 | 0,23 | 0,79 | 41,63 | 41,55 | 41,31 | 0,08 | 0,32 |
| 08:40 | 40,85 | 40,57 | 40,01 | 0,28 | 0,84 | 41,24 | 41,16 | 40,95 | 0,09 | 0,30 |
| 18:10 | 40,86 | 40,18 | 39,09 | 0,67 | 1,77 | 41,21 | 40,61 | 39,58 | 0,59 | 1,63 |
| 18:40 | 41,27 | 40,96 | 40,34 | 0,31 | 0,93 | 41,52 | 41,38 | 41,03 | 0,13 | 0,49 |
| 19:10 | 41,63 | 41,31 | 40,71 | 0,32 | 0,92 | 41,81 | 41,68 | 41,42 | 0,12 | 0,39 |
| 19:40 | 41,93 | 41,63 | 41,00 | 0,30 | 0,93 | 42,05 | 41,93 | 41,67 | 0,12 | 0,38 |
| 20:10 | 42,16 | 41,89 | 41,26 | 0,27 | 0,90 | 42,24 | 42,12 | 41,82 | 0,12 | 0,42 |
| 20:40 | 42,34 | 42,03 | 41,38 | 0,31 | 0,95 | 42,39 | 42,26 | 41,99 | 0,12 | 0,40 |

Tabela 55 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de maio

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 45,00 | 43,20 | 39,62 | 1,80 | 5,38 | 44,98 | 43,60 | 40,58 | 1,38 | 4,40 |
| 06:40 | 44,88 | 44,44 | 43,23 | 0,44 | 1,64 | 44,81 | 44,64 | 44,14 | 0,18 | 0,68 |
| 07:10 | 44,68 | 44,27 | 43,14 | 0,41 | 1,54 | 44,41 | 44,26 | 43,84 | 0,15 | 0,58 |
| 07:40 | 44,07 | 43,64 | 42,59 | 0,43 | 1,49 | 43,94 | 43,76 | 43,34 | 0,18 | 0,60 |
| 08:10 | 43,88 | 43,45 | 42,44 | 0,43 | 1,45 | 43,55 | 43,39 | 42,99 | 0,16 | 0,55 |
| 08:40 | 43,41 | 42,99 | 42,05 | 0,41 | 1,35 | 43,13 | 42,98 | 42,61 | 0,15 | 0,52 |
| 18:10 | 43,30 | 42,00 | 39,56 | 1,31 | 3,74 | 43,09 | 42,07 | 40,05 | 1,02 | 3,04 |
| 18:40 | 43,81 | 43,33 | 42,37 | 0,48 | 1,44 | 43,65 | 43,46 | 43,03 | 0,19 | 0,62 |
| 19:10 | 44,29 | 43,81 | 42,83 | 0,49 | 1,47 | 44,17 | 43,97 | 43,52 | 0,20 | 0,65 |
| 19:40 | 44,69 | 44,19 | 43,18 | 0,50 | 1,51 | 44,59 | 44,39 | 43,94 | 0,20 | 0,65 |
| 20:10 | 44,99 | 44,48 | 43,43 | 0,52 | 1,56 | 44,91 | 44,71 | 44,26 | 0,20 | 0,65 |
| 20:40 | 45,22 | 44,71 | 43,66 | 0,51 | 1,55 | 45,15 | 44,95 | 44,49 | 0,20 | 0,66 |

Tabela 56 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 44,57 | 42,58 | 38,98 | 1,99 | 5,59 | 44,69 | 43,14 | 39,86 | 1,55 | 4,83 |
| 06:40 | 44,36 | 43,87 | 42,37 | 0,49 | 1,99 | 44,56 | 44,37 | 43,81 | 0,19 | 0,75 |
| 07:10 | 44,02 | 43,56 | 42,29 | 0,46 | 1,73 | 44,23 | 44,04 | 43,52 | 0,19 | 0,71 |
| 07:40 | 43,50 | 43,06 | 41,85 | 0,43 | 1,64 | 43,75 | 43,58 | 43,10 | 0,17 | 0,65 |
| 08:10 | 42,86 | 42,45 | 41,32 | 0,40 | 1,54 | 42,94 | 42,78 | 42,36 | 0,15 | 0,58 |
| 08:40 | 42,40 | 42,01 | 40,93 | 0,40 | 1,48 | 42,58 | 42,43 | 42,00 | 0,15 | 0,58 |
| 18:10 | 42,82 | 41,24 | 38,42 | 1,58 | 4,40 | 43,13 | 41,86 | 39,40 | 1,27 | 3,72 |
| 18:40 | 44,07 | 43,47 | 42,37 | 0,60 | 1,69 | 44,25 | 44,01 | 43,50 | 0,24 | 0,75 |
| 19:10 | 45,08 | 44,45 | 43,30 | 0,63 | 1,78 | 45,18 | 44,93 | 44,40 | 0,24 | 0,77 |
| 19:40 | 45,84 | 45,21 | 44,01 | 0,64 | 1,84 | 45,88 | 45,64 | 45,10 | 0,24 | 0,78 |
| 20:10 | 46,39 | 45,76 | 44,53 | 0,64 | 1,87 | 46,41 | 46,16 | 45,62 | 0,24 | 0,79 |
| 20:40 | 46,79 | 46,14 | 44,89 | 0,65 | 1,90 | 46,79 | 46,54 | 45,99 | 0,24 | 0,79 |

Tabela 57 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de novembro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,30 | 41,00 | 38,63 | 1,30 | 3,67 | 42,35 | 41,29 | 39,23 | 1,06 | 3,13 |
| 06:40 | 42,15 | 41,75 | 40,99 | 0,40 | 1,16 | 42,24 | 42,11 | 41,78 | 0,14 | 0,46 |
| 07:10 | 41,97 | 41,59 | 40,86 | 0,38 | 1,11 | 42,06 | 41,92 | 41,62 | 0,13 | 0,43 |
| 07:40 | 41,69 | 41,32 | 40,61 | 0,37 | 1,07 | 41,83 | 41,72 | 41,43 | 0,12 | 0,40 |
| 08:10 | 41,37 | 41,02 | 40,35 | 0,35 | 1,02 | 41,53 | 41,41 | 41,15 | 0,11 | 0,38 |
| 08:40 | 41,06 | 40,72 | 40,06 | 0,35 | 1,00 | 41,27 | 41,16 | 40,90 | 0,11 | 0,38 |
| 18:10 | 41,26 | 40,22 | 38,46 | 1,04 | 2,80 | 41,42 | 40,55 | 38,98 | 0,87 | 2,45 |
| 18:40 | 41,76 | 41,38 | 40,61 | 0,39 | 1,15 | 41,89 | 41,73 | 41,30 | 0,16 | 0,59 |
| 19:10 | 41,87 | 41,52 | 40,85 | 0,35 | 1,02 | 42,00 | 41,87 | 41,57 | 0,13 | 0,43 |
| 19:40 | 41,95 | 41,61 | 40,93 | 0,34 | 1,02 | 41,93 | 41,81 | 41,53 | 0,12 | 0,40 |
| 20:10 | 42,31 | 41,94 | 41,19 | 0,36 | 1,12 | 42,19 | 42,04 | 41,71 | 0,15 | 0,48 |
| 20:40 | 42,48 | 42,14 | 41,39 | 0,34 | 1,09 | 42,50 | 42,36 | 42,05 | 0,14 | 0,45 |

2) São Paulo

Tabela 58 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de fevereiro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 41,85 | 40,65 | 38,35 | 1,20 | 3,50 | 41,93 | 40,92 | 38,89 | 1,02 | 3,04 |
| 06:40 | 41,28 | 40,88 | 40,14 | 0,40 | 1,14 | 41,53 | 41,40 | 41,08 | 0,13 | 0,45 |
| 07:10 | 40,90 | 40,52 | 39,78 | 0,39 | 1,12 | 41,00 | 40,88 | 40,62 | 0,12 | 0,39 |
| 07:40 | 40,79 | 40,41 | 39,66 | 0,38 | 1,13 | 40,74 | 40,62 | 40,33 | 0,12 | 0,42 |
| 08:10 | 40,50 | 40,16 | 39,49 | 0,35 | 1,01 | 40,52 | 40,40 | 40,13 | 0,12 | 0,39 |
| 08:40 | 40,19 | 39,87 | 39,27 | 0,32 | 0,92 | 40,23 | 40,13 | 39,89 | 0,10 | 0,34 |
| 18:10 | 40,39 | 39,60 | 38,27 | 0,79 | 2,12 | 40,43 | 39,78 | 38,61 | 0,65 | 1,82 |
| 18:40 | 40,91 | 40,58 | 39,87 | 0,34 | 1,04 | 40,93 | 40,77 | 40,36 | 0,16 | 0,57 |
| 19:10 | 41,35 | 41,01 | 40,37 | 0,34 | 0,98 | 41,35 | 41,22 | 40,93 | 0,14 | 0,43 |
| 19:40 | 41,71 | 41,32 | 40,63 | 0,38 | 1,08 | 41,70 | 41,55 | 41,23 | 0,15 | 0,47 |
| 20:10 | 41,99 | 41,57 | 40,82 | 0,42 | 1,17 | 41,97 | 41,82 | 41,48 | 0,15 | 0,49 |
| 20:40 | 42,20 | 41,81 | 41,09 | 0,39 | 1,10 | 42,18 | 42,03 | 41,72 | 0,15 | 0,46 |

Tabela 59 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de maio

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,26 | 40,84 | 38,22 | 1,42 | 4,04 | 42,36 | 41,20 | 38,94 | 1,16 | 3,42 |
| 06:40 | 42,05 | 41,60 | 40,75 | 0,45 | 1,31 | 42,19 | 42,03 | 41,68 | 0,15 | 0,51 |
| 07:10 | 41,80 | 41,35 | 40,52 | 0,45 | 1,28 | 41,96 | 41,82 | 41,48 | 0,15 | 0,49 |
| 07:40 | 41,48 | 41,02 | 40,22 | 0,46 | 1,26 | 41,69 | 41,55 | 41,23 | 0,14 | 0,46 |
| 08:10 | 41,14 | 40,69 | 39,92 | 0,45 | 1,22 | 41,37 | 41,24 | 40,93 | 0,13 | 0,44 |
| 08:40 | 40,89 | 40,45 | 39,69 | 0,44 | 1,20 | 41,12 | 40,98 | 40,67 | 0,14 | 0,45 |
| 18:10 | 41,29 | 40,03 | 37,77 | 1,25 | 3,51 | 41,49 | 40,47 | 38,51 | 1,02 | 2,98 |
| 18:40 | 42,42 | 41,93 | 41,04 | 0,48 | 1,38 | 42,53 | 42,33 | 41,90 | 0,20 | 0,64 |
| 19:10 | 43,32 | 42,81 | 41,86 | 0,51 | 1,46 | 43,37 | 43,17 | 42,73 | 0,20 | 0,64 |
| 19:40 | 44,00 | 43,49 | 42,51 | 0,51 | 1,49 | 44,02 | 43,81 | 43,36 | 0,20 | 0,65 |
| 20:10 | 44,50 | 43,99 | 43,00 | 0,50 | 1,50 | 44,50 | 44,30 | 43,85 | 0,20 | 0,64 |
| 20:40 | 44,73 | 44,23 | 43,24 | 0,50 | 1,49 | 44,78 | 44,59 | 44,16 | 0,19 | 0,62 |

Tabela 60 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 45,78 | 44,08 | 41,16 | 1,71 | 4,63 | 46,02 | 44,82 | 42,29 | 1,20 | 3,73 |
| 06:40 | 45,44 | 44,83 | 43,89 | 0,61 | 1,55 | 45,65 | 45,49 | 45,10 | 0,16 | 0,54 |
| 07:10 | 45,09 | 44,62 | 43,69 | 0,47 | 1,40 | 45,28 | 45,12 | 44,75 | 0,16 | 0,54 |
| 07:40 | 44,68 | 44,24 | 43,36 | 0,44 | 1,31 | 44,88 | 44,73 | 44,38 | 0,15 | 0,51 |
| 08:10 | 44,15 | 43,72 | 42,89 | 0,43 | 1,26 | 44,38 | 44,25 | 43,93 | 0,13 | 0,45 |
| 08:40 | 43,61 | 43,18 | 42,41 | 0,42 | 1,20 | 43,87 | 43,74 | 43,43 | 0,13 | 0,43 |
| 18:10 | 43,68 | 42,49 | 40,44 | 1,20 | 3,24 | 43,92 | 42,93 | 41,14 | 1,00 | 2,79 |
| 18:40 | 44,35 | 43,90 | 42,93 | 0,45 | 1,42 | 44,54 | 44,34 | 43,79 | 0,21 | 0,75 |
| 19:10 | 44,72 | 44,30 | 43,47 | 0,41 | 1,25 | 44,91 | 44,74 | 44,37 | 0,17 | 0,54 |
| 19:40 | 44,82 | 44,43 | 43,59 | 0,39 | 1,23 | 45,03 | 44,87 | 44,52 | 0,16 | 0,51 |
| 20:10 | 44,67 | 44,33 | 43,53 | 0,34 | 1,13 | 44,80 | 44,67 | 44,35 | 0,13 | 0,45 |
| 20:40 | 44,74 | 44,36 | 43,48 | 0,39 | 1,26 | 44,81 | 44,66 | 44,28 | 0,16 | 0,53 |

Tabela 61 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de novembro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 44,78 | 43,19 | 40,20 | 1,59 | 4,59 | 44,87 | 43,59 | 41,02 | 1,28 | 3,85 |
| 06:40 | 44,06 | 43,59 | 42,66 | 0,47 | 1,41 | 44,31 | 44,16 | 43,79 | 0,15 | 0,52 |
| 07:10 | 43,74 | 43,28 | 42,38 | 0,46 | 1,36 | 43,79 | 43,63 | 43,26 | 0,16 | 0,53 |
| 07:40 | 43,36 | 42,87 | 42,00 | 0,50 | 1,36 | 43,73 | 43,58 | 43,23 | 0,15 | 0,50 |
| 08:10 | 43,04 | 42,57 | 41,78 | 0,47 | 1,27 | 43,35 | 43,20 | 42,87 | 0,14 | 0,47 |
| 08:40 | 42,76 | 42,31 | 41,53 | 0,45 | 1,23 | 43,05 | 42,91 | 42,60 | 0,14 | 0,45 |
| 18:10 | 42,92 | 41,68 | 39,48 | 1,23 | 3,44 | 43,13 | 42,20 | 40,35 | 0,94 | 2,79 |
| 18:40 | 43,55 | 43,02 | 42,14 | 0,53 | 1,41 | 43,68 | 43,49 | 43,09 | 0,19 | 0,60 |
| 19:10 | 44,10 | 43,56 | 42,64 | 0,54 | 1,46 | 44,17 | 43,98 | 43,56 | 0,19 | 0,62 |
| 19:40 | 44,54 | 43,98 | 43,02 | 0,56 | 1,52 | 44,58 | 44,38 | 43,95 | 0,20 | 0,63 |
| 20:10 | 44,88 | 44,31 | 43,32 | 0,57 | 1,56 | 44,89 | 44,69 | 44,25 | 0,20 | 0,64 |
| 20:40 | 45,13 | 44,55 | 43,55 | 0,57 | 1,58 | 45,13 | 44,93 | 44,49 | 0,20 | 0,64 |

3) Brasília

Tabela 62 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de fevereiro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,15 | 41,00 | 38,61 | 1,16 | 3,54 | 42,15 | 41,18 | 39,10 | 0,97 | 3,05 |
| 06:40 | 42,00 | 41,68 | 40,72 | 0,32 | 1,28 | 42,04 | 41,89 | 41,38 | 0,15 | 0,66 |
| 07:10 | 41,73 | 41,45 | 40,65 | 0,28 | 1,08 | 41,88 | 41,77 | 41,42 | 0,12 | 0,46 |
| 07:40 | 41,21 | 40,95 | 40,26 | 0,26 | 0,95 | 41,39 | 41,30 | 41,03 | 0,09 | 0,36 |
| 08:10 | 40,77 | 40,53 | 39,87 | 0,24 | 0,91 | 40,91 | 40,82 | 40,57 | 0,08 | 0,34 |
| 08:40 | 40,46 | 40,23 | 39,62 | 0,22 | 0,83 | 40,59 | 40,51 | 40,27 | 0,08 | 0,32 |
| 18:10 | 40,56 | 39,49 | 37,52 | 1,07 | 3,04 | 40,67 | 39,80 | 38,10 | 0,86 | 2,56 |
| 18:40 | 41,02 | 40,66 | 39,92 | 0,36 | 1,10 | 41,08 | 40,93 | 40,58 | 0,15 | 0,50 |
| 19:10 | 41,42 | 41,05 | 40,24 | 0,37 | 1,18 | 41,45 | 41,29 | 40,94 | 0,16 | 0,51 |
| 19:40 | 41,75 | 41,40 | 40,64 | 0,35 | 1,11 | 41,76 | 41,60 | 41,24 | 0,16 | 0,52 |
| 20:10 | 42,01 | 41,69 | 40,88 | 0,32 | 1,13 | 42,00 | 41,86 | 41,50 | 0,15 | 0,51 |
| 20:40 | 42,21 | 41,89 | 41,07 | 0,32 | 1,13 | 42,20 | 42,06 | 41,70 | 0,14 | 0,50 |

Tabela 63 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de maio

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 44,32 | 43,03 | 40,06 | 1,29 | 4,26 | 44,44 | 43,40 | 40,87 | 1,05 | 3,58 |
| 06:40 | 43,92 | 43,57 | 42,58 | 0,35 | 1,34 | 44,02 | 43,87 | 43,46 | 0,15 | 0,56 |
| 07:10 | 43,59 | 43,24 | 42,27 | 0,35 | 1,32 | 43,73 | 43,59 | 43,20 | 0,14 | 0,53 |
| 07:40 | 43,25 | 42,93 | 42,04 | 0,32 | 1,21 | 43,39 | 43,27 | 42,91 | 0,12 | 0,48 |
| 08:10 | 42,88 | 42,59 | 41,77 | 0,30 | 1,11 | 43,02 | 42,91 | 42,58 | 0,12 | 0,45 |
| 08:40 | 42,54 | 42,27 | 41,54 | 0,27 | 0,99 | 42,71 | 42,61 | 42,32 | 0,10 | 0,39 |
| 18:10 | 42,73 | 41,86 | 40,24 | 0,87 | 2,49 | 42,88 | 42,16 | 40,75 | 0,72 | 2,13 |
| 18:40 | 43,46 | 43,13 | 42,44 | 0,33 | 1,02 | 43,55 | 43,41 | 43,09 | 0,14 | 0,46 |
| 19:10 | 44,05 | 43,72 | 42,93 | 0,33 | 1,12 | 44,10 | 43,94 | 43,58 | 0,15 | 0,52 |
| 19:40 | 44,50 | 44,18 | 43,35 | 0,32 | 1,15 | 44,53 | 44,38 | 44,00 | 0,15 | 0,53 |
| 20:10 | 44,84 | 44,51 | 43,65 | 0,33 | 1,19 | 44,85 | 44,70 | 44,32 | 0,15 | 0,53 |
| 20:40 | 45,10 | 44,75 | 43,85 | 0,35 | 1,25 | 45,10 | 44,94 | 44,55 | 0,15 | 0,55 |

Tabela 64 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 44,00 | 42,58 | 39,93 | 1,42 | 4,08 | 44,16 | 43,02 | 40,72 | 1,14 | 3,45 |
| 06:40 | 43,76 | 43,39 | 42,54 | 0,38 | 1,22 | 43,94 | 43,79 | 43,44 | 0,15 | 0,50 |
| 07:10 | 43,50 | 43,13 | 42,31 | 0,37 | 1,19 | 43,70 | 43,56 | 43,22 | 0,14 | 0,48 |
| 07:40 | 43,17 | 42,82 | 42,01 | 0,35 | 1,16 | 43,41 | 43,27 | 42,94 | 0,14 | 0,46 |
| 08:10 | 42,81 | 42,52 | 41,74 | 0,29 | 1,07 | 43,07 | 42,96 | 42,64 | 0,11 | 0,43 |
| 08:40 | 42,41 | 42,15 | 41,41 | 0,27 | 1,01 | 42,65 | 42,55 | 42,25 | 0,11 | 0,40 |
| 18:10 | 42,32 | 41,17 | 39,14 | 1,15 | 3,18 | 42,57 | 41,71 | 40,01 | 0,86 | 2,56 |
| 18:40 | 42,93 | 42,48 | 41,69 | 0,46 | 1,25 | 43,11 | 42,95 | 42,59 | 0,16 | 0,53 |
| 19:10 | 43,36 | 42,91 | 42,11 | 0,44 | 1,24 | 43,49 | 43,33 | 42,97 | 0,16 | 0,52 |
| 19:40 | 43,62 | 43,18 | 42,37 | 0,44 | 1,25 | 43,73 | 43,57 | 43,21 | 0,16 | 0,52 |
| 20:10 | 43,75 | 43,32 | 42,50 | 0,42 | 1,25 | 43,85 | 43,69 | 43,34 | 0,16 | 0,51 |
| 20:40 | 43,75 | 43,35 | 42,53 | 0,41 | 1,22 | 43,86 | 43,70 | 43,36 | 0,15 | 0,50 |

Tabela 65 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de novembro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 44,57 | 43,29 | 40,77 | 1,29 | 3,80 | 44,66 | 43,61 | 41,36 | 1,05 | 3,30 |
| 06:40 | 43,92 | 43,54 | 42,73 | 0,38 | 1,19 | 43,98 | 43,86 | 43,53 | 0,12 | 0,45 |
| 07:10 | 43,82 | 43,48 | 42,68 | 0,33 | 1,14 | 43,71 | 43,58 | 43,26 | 0,13 | 0,45 |
| 07:40 | 43,43 | 43,08 | 42,37 | 0,34 | 1,06 | 43,38 | 43,27 | 42,98 | 0,12 | 0,40 |
| 08:10 | 43,02 | 42,66 | 41,99 | 0,36 | 1,03 | 43,04 | 42,92 | 42,66 | 0,11 | 0,37 |
| 08:40 | 42,65 | 42,32 | 41,70 | 0,33 | 0,95 | 42,68 | 42,57 | 42,33 | 0,11 | 0,35 |
| 18:10 | 42,38 | 41,39 | 39,74 | 0,99 | 2,64 | 42,53 | 41,79 | 40,35 | 0,75 | 2,18 |
| 18:40 | 42,62 | 42,23 | 41,39 | 0,39 | 1,22 | 42,52 | 42,38 | 42,06 | 0,13 | 0,45 |
| 19:10 | 42,94 | 42,64 | 41,91 | 0,30 | 1,02 | 42,90 | 42,77 | 42,45 | 0,13 | 0,45 |
| 19:40 | 43,18 | 42,88 | 42,11 | 0,30 | 1,07 | 42,97 | 42,85 | 42,53 | 0,12 | 0,44 |
| 20:10 | 43,27 | 42,96 | 42,18 | 0,31 | 1,09 | 43,06 | 42,93 | 42,59 | 0,13 | 0,47 |
| 20:40 | 43,16 | 42,81 | 42,01 | 0,35 | 1,15 | 43,03 | 42,90 | 42,57 | 0,14 | 0,46 |

4) Salvador

Tabela 66 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de fevereiro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,24 | 41,31 | 39,77 | 0,93 | 2,46 | 42,01 | 41,21 | 39,83 | 0,79 | 2,17 |
| 06:40 | 42,23 | 41,96 | 41,32 | 0,27 | 0,91 | 42,04 | 41,92 | 41,55 | 0,12 | 0,49 |
| 07:10 | 42,20 | 41,95 | 41,44 | 0,24 | 0,76 | 42,04 | 41,95 | 41,72 | 0,09 | 0,32 |
| 07:40 | 41,92 | 41,70 | 41,24 | 0,22 | 0,68 | 41,80 | 41,72 | 41,54 | 0,07 | 0,26 |
| 08:10 | 41,35 | 41,17 | 40,77 | 0,18 | 0,58 | 41,26 | 41,21 | 41,08 | 0,05 | 0,18 |
| 08:40 | 41,04 | 40,85 | 40,46 | 0,19 | 0,58 | 40,97 | 40,92 | 40,77 | 0,06 | 0,20 |
| 18:10 | 40,93 | 40,19 | 38,93 | 0,75 | 2,00 | 40,90 | 40,30 | 39,25 | 0,59 | 1,64 |
| 18:40 | 40,90 | 40,64 | 40,08 | 0,26 | 0,82 | 40,88 | 40,77 | 40,46 | 0,11 | 0,41 |
| 19:10 | 41,12 | 40,85 | 40,32 | 0,27 | 0,80 | 41,09 | 40,98 | 40,73 | 0,11 | 0,36 |
| 19:40 | 41,40 | 41,11 | 40,53 | 0,29 | 0,87 | 41,37 | 41,25 | 40,98 | 0,12 | 0,39 |
| 20:10 | 41,67 | 41,36 | 40,75 | 0,31 | 0,92 | 41,64 | 41,51 | 41,22 | 0,13 | 0,41 |
| 20:40 | 41,90 | 41,58 | 40,93 | 0,32 | 0,98 | 41,87 | 41,74 | 41,44 | 0,13 | 0,43 |

Tabela 67 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de maio

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 40,05 | 39,26 | 37,79 | 0,80 | 2,26 | 40,45 | 39,69 | 38,33 | 0,77 | 2,13 |
| 06:40 | 39,82 | 39,55 | 39,07 | 0,27 | 0,75 | 40,38 | 40,26 | 39,92 | 0,12 | 0,46 |
| 07:10 | 39,76 | 39,48 | 39,02 | 0,28 | 0,74 | 40,22 | 40,13 | 39,91 | 0,09 | 0,31 |
| 07:40 | 39,74 | 39,46 | 38,97 | 0,28 | 0,77 | 40,00 | 39,91 | 39,72 | 0,08 | 0,28 |
| 08:10 | 39,71 | 39,43 | 38,94 | 0,28 | 0,77 | 39,96 | 39,86 | 39,65 | 0,09 | 0,30 |
| 08:40 | 39,74 | 39,46 | 38,96 | 0,28 | 0,78 | 39,97 | 39,87 | 39,65 | 0,10 | 0,32 |
| 18:10 | 40,10 | 39,19 | 37,65 | 0,91 | 2,45 | 40,28 | 39,51 | 38,14 | 0,77 | 2,15 |
| 18:40 | 40,67 | 40,33 | 39,59 | 0,35 | 1,08 | 40,79 | 40,62 | 40,19 | 0,16 | 0,60 |
| 19:10 | 41,14 | 40,79 | 40,11 | 0,35 | 1,03 | 41,21 | 41,06 | 40,73 | 0,15 | 0,48 |
| 19:40 | 41,52 | 41,16 | 40,46 | 0,36 | 1,06 | 41,56 | 41,41 | 41,08 | 0,15 | 0,48 |
| 20:10 | 41,82 | 41,45 | 40,73 | 0,37 | 1,09 | 41,84 | 41,69 | 41,36 | 0,15 | 0,48 |
| 20:40 | 42,03 | 41,65 | 40,86 | 0,38 | 1,17 | 42,05 | 41,90 | 41,54 | 0,16 | 0,52 |

Tabela 68 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 41,71 | 40,71 | 39,04 | 1,00 | 2,67 | 41,79 | 40,91 | 39,37 | 0,88 | 2,42 |
| 06:40 | 41,10 | 40,84 | 40,23 | 0,26 | 0,86 | 41,20 | 41,11 | 40,79 | 0,09 | 0,41 |
| 07:10 | 40,76 | 40,51 | 40,00 | 0,25 | 0,76 | 40,86 | 40,78 | 40,59 | 0,08 | 0,28 |
| 07:40 | 40,44 | 40,20 | 39,73 | 0,24 | 0,71 | 40,56 | 40,48 | 40,30 | 0,08 | 0,26 |
| 08:10 | 40,27 | 40,02 | 39,53 | 0,25 | 0,73 | 40,39 | 40,30 | 40,10 | 0,09 | 0,28 |
| 08:40 | 40,17 | 39,92 | 39,43 | 0,25 | 0,75 | 40,29 | 40,20 | 40,00 | 0,09 | 0,30 |
| 18:10 | 40,42 | 39,41 | 37,70 | 1,01 | 2,72 | 40,52 | 39,68 | 38,18 | 0,84 | 2,34 |
| 18:40 | 40,90 | 40,53 | 39,74 | 0,37 | 1,16 | 40,96 | 40,79 | 40,34 | 0,17 | 0,62 |
| 19:10 | 41,32 | 40,96 | 40,24 | 0,37 | 1,09 | 41,35 | 41,20 | 40,85 | 0,15 | 0,49 |
| 19:40 | 41,65 | 41,27 | 40,53 | 0,38 | 1,12 | 41,67 | 41,52 | 41,18 | 0,15 | 0,49 |
| 20:10 | 41,84 | 41,47 | 40,73 | 0,37 | 1,11 | 41,89 | 41,74 | 41,41 | 0,15 | 0,49 |
| 20:40 | 41,81 | 41,45 | 40,73 | 0,36 | 1,08 | 41,94 | 41,80 | 41,48 | 0,14 | 0,46 |

Tabela 69 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de novembro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,09 | 41,11 | 39,49 | 0,98 | 2,60 | 42,27 | 41,41 | 39,90 | 0,86 | 2,38 |
| 06:40 | 42,04 | 41,75 | 41,07 | 0,30 | 0,98 | 42,23 | 42,10 | 41,70 | 0,13 | 0,53 |
| 07:10 | 41,89 | 41,63 | 41,07 | 0,26 | 0,83 | 42,15 | 42,05 | 41,80 | 0,10 | 0,36 |
| 07:40 | 41,43 | 41,20 | 40,73 | 0,23 | 0,69 | 41,83 | 41,74 | 41,55 | 0,08 | 0,27 |
| 08:10 | 40,79 | 40,59 | 40,17 | 0,20 | 0,62 | 41,31 | 41,25 | 41,09 | 0,06 | 0,22 |
| 08:40 | 40,62 | 40,40 | 39,96 | 0,22 | 0,66 | 40,78 | 40,73 | 40,58 | 0,06 | 0,20 |
| 18:10 | 40,78 | 39,93 | 38,48 | 0,85 | 2,29 | 40,42 | 39,77 | 38,59 | 0,66 | 1,84 |
| 18:40 | 40,91 | 40,62 | 39,97 | 0,29 | 0,94 | 40,43 | 40,32 | 39,99 | 0,11 | 0,44 |
| 19:10 | 41,20 | 40,90 | 40,29 | 0,30 | 0,91 | 40,73 | 40,61 | 40,34 | 0,12 | 0,39 |
| 19:40 | 41,50 | 41,19 | 40,55 | 0,31 | 0,95 | 41,09 | 40,96 | 40,67 | 0,13 | 0,42 |
| 20:10 | 41,77 | 41,45 | 40,78 | 0,33 | 1,00 | 41,43 | 41,29 | 40,99 | 0,14 | 0,44 |
| 20:40 | 42,00 | 41,67 | 40,97 | 0,34 | 1,03 | 41,72 | 41,58 | 41,26 | 0,14 | 0,45 |

5) Belém

Tabela 70 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de fevereiro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 41,84 | 40,61 | 38,58 | 1,22 | 3,26 | 41,89 | 40,88 | 39,08 | 1,01 | 2,81 |
| 06:40 | 41,42 | 41,05 | 40,22 | 0,37 | 1,19 | 41,56 | 41,42 | 40,96 | 0,14 | 0,60 |
| 07:10 | 40,83 | 40,51 | 39,92 | 0,31 | 0,91 | 41,09 | 41,00 | 40,77 | 0,09 | 0,32 |
| 07:40 | 40,58 | 40,27 | 39,67 | 0,32 | 0,91 | 40,55 | 40,46 | 40,25 | 0,09 | 0,30 |
| 08:10 | 40,45 | 40,15 | 39,56 | 0,30 | 0,88 | 40,44 | 40,34 | 40,09 | 0,11 | 0,35 |
| 08:40 | 40,27 | 39,98 | 39,43 | 0,29 | 0,84 | 40,24 | 40,15 | 39,94 | 0,09 | 0,30 |
| 18:10 | 40,41 | 39,53 | 37,91 | 0,87 | 2,50 | 40,47 | 39,81 | 38,47 | 0,67 | 2,00 |
| 18:40 | 40,91 | 40,54 | 39,89 | 0,37 | 1,02 | 40,94 | 40,80 | 40,50 | 0,14 | 0,44 |
| 19:10 | 41,33 | 40,92 | 40,21 | 0,40 | 1,11 | 41,33 | 41,18 | 40,85 | 0,16 | 0,49 |
| 19:40 | 41,66 | 41,25 | 40,52 | 0,41 | 1,14 | 41,66 | 41,50 | 41,16 | 0,16 | 0,50 |
| 20:10 | 41,93 | 41,52 | 40,71 | 0,41 | 1,22 | 41,91 | 41,75 | 41,38 | 0,16 | 0,53 |
| 20:40 | 42,11 | 41,70 | 40,98 | 0,41 | 1,13 | 42,11 | 41,96 | 41,64 | 0,15 | 0,46 |

Tabela 71 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de maio

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,28 | 41,01 | 38,93 | 1,26 | 3,35 | 42,32 | 41,26 | 39,41 | 1,05 | 2,91 |
| 06:40 | 42,23 | 41,78 | 40,88 | 0,45 | 1,35 | 42,26 | 42,08 | 41,57 | 0,17 | 0,68 |
| 07:10 | 42,23 | 41,80 | 41,04 | 0,43 | 1,19 | 42,29 | 42,14 | 41,79 | 0,15 | 0,49 |
| 07:40 | 42,05 | 41,64 | 40,94 | 0,41 | 1,10 | 42,20 | 42,07 | 41,77 | 0,13 | 0,44 |
| 08:10 | 41,52 | 41,18 | 40,57 | 0,34 | 0,95 | 41,83 | 41,73 | 41,49 | 0,09 | 0,34 |
| 08:40 | 41,12 | 40,79 | 40,26 | 0,33 | 0,86 | 41,16 | 41,09 | 40,91 | 0,07 | 0,24 |
| 18:10 | 40,86 | 39,95 | 38,23 | 0,91 | 2,63 | 41,09 | 40,37 | 38,92 | 0,72 | 2,18 |
| 18:40 | 40,83 | 40,48 | 39,81 | 0,34 | 1,01 | 41,39 | 41,24 | 40,89 | 0,15 | 0,50 |
| 19:10 | 41,07 | 40,72 | 40,06 | 0,35 | 1,01 | 41,67 | 41,52 | 41,21 | 0,14 | 0,45 |
| 19:40 | 41,36 | 41,01 | 40,30 | 0,35 | 1,06 | 41,90 | 41,75 | 41,42 | 0,15 | 0,48 |
| 20:10 | 41,65 | 41,30 | 40,55 | 0,35 | 1,10 | 42,10 | 41,94 | 41,59 | 0,15 | 0,51 |
| 20:40 | 41,90 | 41,51 | 40,82 | 0,39 | 1,08 | 42,26 | 42,11 | 41,80 | 0,14 | 0,45 |

Tabela 72 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,19 | 41,02 | 38,84 | 1,17 | 3,35 | 41,81 | 40,86 | 39,00 | 0,95 | 2,81 |
| 06:40 | 42,17 | 41,79 | 40,95 | 0,38 | 1,22 | 41,87 | 41,72 | 41,33 | 0,15 | 0,54 |
| 07:10 | 42,13 | 41,72 | 40,97 | 0,40 | 1,16 | 41,95 | 41,80 | 41,48 | 0,15 | 0,47 |
| 07:40 | 41,88 | 41,47 | 40,69 | 0,41 | 1,19 | 41,89 | 41,74 | 41,40 | 0,15 | 0,48 |
| 08:10 | 41,34 | 40,95 | 40,24 | 0,38 | 1,10 | 41,53 | 41,40 | 41,11 | 0,13 | 0,42 |
| 08:40 | 41,02 | 40,67 | 40,01 | 0,35 | 1,01 | 40,97 | 40,89 | 40,66 | 0,08 | 0,30 |
| 18:10 | 41,15 | 40,29 | 38,74 | 0,86 | 2,41 | 40,99 | 40,34 | 39,08 | 0,65 | 1,90 |
| 18:40 | 41,56 | 41,23 | 40,53 | 0,34 | 1,04 | 41,33 | 41,19 | 40,87 | 0,14 | 0,46 |
| 19:10 | 41,87 | 41,53 | 40,71 | 0,34 | 1,15 | 41,62 | 41,47 | 41,11 | 0,15 | 0,52 |
| 19:40 | 42,10 | 41,71 | 40,93 | 0,38 | 1,17 | 41,87 | 41,72 | 41,37 | 0,16 | 0,50 |
| 20:10 | 42,27 | 41,86 | 41,06 | 0,42 | 1,21 | 42,08 | 41,93 | 41,60 | 0,15 | 0,48 |
| 20:40 | 42,40 | 41,99 | 41,23 | 0,42 | 1,17 | 42,24 | 42,08 | 41,73 | 0,16 | 0,51 |

Tabela 73 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 4º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de quatro pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de novembro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 4º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 4º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,37 | 41,19 | 38,97 | 1,18 | 3,40 | 42,26 | 41,30 | 39,38 | 0,96 | 2,88 |
| 06:40 | 42,32 | 42,01 | 41,19 | 0,31 | 1,12 | 42,23 | 42,10 | 41,72 | 0,13 | 0,50 |
| 07:10 | 42,34 | 42,02 | 41,21 | 0,32 | 1,14 | 42,27 | 42,13 | 41,77 | 0,14 | 0,50 |
| 07:40 | 42,40 | 42,02 | 41,28 | 0,38 | 1,12 | 42,33 | 42,19 | 41,87 | 0,14 | 0,46 |
| 08:10 | 42,34 | 41,97 | 41,31 | 0,37 | 1,03 | 42,25 | 42,13 | 41,86 | 0,12 | 0,39 |
| 08:40 | 42,02 | 41,69 | 41,11 | 0,34 | 0,92 | 41,91 | 41,81 | 41,60 | 0,10 | 0,31 |
| 18:10 | 41,59 | 40,76 | 39,39 | 0,83 | 2,20 | 41,49 | 40,84 | 39,70 | 0,65 | 1,79 |
| 18:40 | 41,40 | 41,10 | 40,46 | 0,30 | 0,94 | 41,31 | 41,20 | 40,89 | 0,11 | 0,42 |
| 19:10 | 41,51 | 41,19 | 40,65 | 0,32 | 0,87 | 41,41 | 41,29 | 41,04 | 0,11 | 0,36 |
| 19:40 | 41,70 | 41,35 | 40,75 | 0,35 | 0,95 | 41,60 | 41,47 | 41,20 | 0,12 | 0,39 |
| 20:10 | 41,89 | 41,52 | 40,89 | 0,37 | 1,01 | 41,80 | 41,67 | 41,38 | 0,13 | 0,42 |
| 20:40 | 42,07 | 41,69 | 41,03 | 0,39 | 1,05 | 42,00 | 41,86 | 41,56 | 0,14 | 0,44 |

Apêndice D - Variação da temperatura na saída do tubo com e sem isolamento térmico, para aquecimento central solar com apoio a gás em residência multifamiliar de doze pavimentos

1) Curitiba

Tabela 74 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de fevereiro.

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 40,83 | 39,44 | 34,73 | 1,38 | 6,10 | 41,07 | 40,04 | 35,79 | 1,03 | 5,28 |
| 06:40 | 40,22 | 39,96 | 37,66 | 0,27 | 2,56 | 40,55 | 40,45 | 39,41 | 0,10 | 1,14 |
| 07:10 | 39,60 | 39,35 | 37,24 | 0,24 | 2,36 | 40,02 | 39,94 | 38,98 | 0,09 | 1,04 |
| 07:40 | 39,18 | 38,97 | 37,11 | 0,21 | 2,06 | 39,57 | 39,49 | 38,69 | 0,07 | 0,87 |
| 08:10 | 38,74 | 38,57 | 37,00 | 0,17 | 1,75 | 39,19 | 39,14 | 38,39 | 0,05 | 0,80 |
| 08:40 | 38,25 | 38,08 | 36,70 | 0,18 | 1,55 | 38,63 | 38,58 | 38,01 | 0,05 | 0,62 |
| 18:10 | 38,68 | 38,08 | 36,39 | 0,61 | 2,29 | 39,09 | 38,56 | 36,94 | 0,54 | 2,15 |
| 18:40 | 39,89 | 39,58 | 37,87 | 0,31 | 2,02 | 40,14 | 39,95 | 38,88 | 0,19 | 1,27 |
| 19:10 | 40,72 | 40,44 | 38,62 | 0,29 | 2,11 | 40,88 | 40,74 | 39,82 | 0,15 | 1,06 |
| 19:40 | 41,31 | 41,03 | 39,19 | 0,28 | 2,12 | 41,41 | 41,28 | 40,39 | 0,13 | 1,02 |
| 20:10 | 41,72 | 41,43 | 39,34 | 0,29 | 2,38 | 41,79 | 41,65 | 40,70 | 0,14 | 1,09 |
| 20:40 | 41,59 | 41,37 | 39,47 | 0,22 | 2,12 | 41,85 | 41,74 | 40,77 | 0,11 | 1,08 |

Tabela 75 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de maio

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 41,21 | 39,16 | 32,18 | 2,06 | 9,03 | 41,52 | 40,01 | 33,80 | 1,51 | 7,72 |
| 06:40 | 39,65 | 39,37 | 36,40 | 0,28 | 3,25 | 40,06 | 40,00 | 38,83 | 0,06 | 1,22 |
| 07:10 | 38,16 | 37,90 | 35,22 | 0,26 | 2,94 | 38,59 | 38,55 | 37,53 | 0,05 | 1,07 |
| 07:40 | 36,89 | 36,63 | 34,15 | 0,26 | 2,73 | 37,24 | 37,18 | 36,24 | 0,06 | 0,99 |
| 08:10 | 36,41 | 36,08 | 33,62 | 0,33 | 2,80 | 36,66 | 36,53 | 35,47 | 0,13 | 1,19 |
| 08:40 | 36,67 | 36,35 | 33,96 | 0,31 | 2,71 | 36,83 | 36,70 | 35,66 | 0,13 | 1,17 |
| 18:10 | 37,91 | 36,58 | 32,18 | 1,33 | 5,73 | 38,03 | 36,99 | 33,23 | 1,04 | 4,80 |
| 18:40 | 40,46 | 39,99 | 37,20 | 0,47 | 3,26 | 40,52 | 40,26 | 38,84 | 0,26 | 1,68 |
| 19:10 | 42,17 | 41,71 | 38,70 | 0,47 | 3,47 | 42,18 | 41,93 | 40,41 | 0,25 | 1,77 |
| 19:40 | 43,32 | 42,86 | 39,71 | 0,46 | 3,61 | 43,29 | 43,06 | 41,53 | 0,23 | 1,76 |
| 20:10 | 43,65 | 43,26 | 40,14 | 0,40 | 3,51 | 43,64 | 43,48 | 42,05 | 0,16 | 1,59 |
| 20:40 | 43,18 | 42,82 | 39,83 | 0,36 | 3,35 | 43,23 | 43,11 | 41,81 | 0,12 | 1,42 |

Tabela 76 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 41,97 | 39,51 | 31,65 | 2,47 | 10,33 | 41,93 | 40,17 | 33,78 | 1,76 | 8,15 |
| 06:40 | 40,30 | 39,96 | 36,19 | 0,34 | 4,11 | 40,59 | 40,50 | 38,43 | 0,09 | 2,16 |
| 07:10 | 38,77 | 38,40 | 34,84 | 0,37 | 3,93 | 39,02 | 38,93 | 37,56 | 0,09 | 1,46 |
| 07:40 | 37,56 | 37,19 | 33,79 | 0,36 | 3,76 | 37,74 | 37,64 | 36,30 | 0,10 | 1,44 |
| 08:10 | 36,66 | 36,31 | 33,07 | 0,35 | 3,59 | 36,79 | 36,68 | 35,38 | 0,11 | 1,41 |
| 08:40 | 36,67 | 36,24 | 33,04 | 0,43 | 3,63 | 36,76 | 36,56 | 35,13 | 0,20 | 1,63 |
| 18:10 | 38,60 | 36,83 | 31,25 | 1,78 | 7,36 | 38,66 | 37,27 | 32,33 | 1,39 | 6,34 |
| 18:40 | 41,56 | 40,98 | 37,59 | 0,58 | 3,98 | 41,60 | 41,29 | 39,56 | 0,31 | 2,03 |
| 19:10 | 43,58 | 43,00 | 39,34 | 0,58 | 4,24 | 43,57 | 43,29 | 41,50 | 0,29 | 2,07 |
| 19:40 | 44,36 | 43,86 | 40,20 | 0,50 | 4,16 | 44,36 | 44,17 | 42,51 | 0,20 | 1,85 |
| 20:10 | 44,20 | 43,74 | 40,13 | 0,47 | 4,07 | 44,24 | 44,08 | 42,50 | 0,17 | 1,74 |
| 20:40 | 43,38 | 42,97 | 39,56 | 0,41 | 3,82 | 43,54 | 43,43 | 42,01 | 0,11 | 1,53 |

Tabela 77 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Curitiba – dados para o dia 15 de novembro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 39,10 | 37,67 | 33,34 | 1,43 | 5,75 | 39,34 | 38,25 | 34,28 | 1,09 | 5,06 |
| 06:40 | 38,19 | 37,98 | 35,99 | 0,21 | 2,20 | 38,40 | 38,37 | 37,54 | 0,03 | 0,86 |
| 07:10 | 37,65 | 37,40 | 35,51 | 0,25 | 2,14 | 37,81 | 37,73 | 36,96 | 0,08 | 0,86 |
| 07:40 | 37,44 | 37,20 | 35,35 | 0,24 | 2,08 | 37,55 | 37,47 | 36,71 | 0,08 | 0,84 |
| 08:10 | 37,17 | 36,94 | 35,17 | 0,23 | 2,00 | 37,25 | 37,17 | 36,44 | 0,07 | 0,80 |
| 08:40 | 37,07 | 36,82 | 35,06 | 0,24 | 2,00 | 37,11 | 37,02 | 36,27 | 0,09 | 0,84 |
| 18:10 | 38,23 | 37,13 | 34,02 | 1,10 | 4,22 | 38,27 | 37,41 | 34,60 | 0,86 | 3,67 |
| 18:40 | 40,64 | 40,17 | 37,68 | 0,47 | 2,96 | 40,63 | 40,35 | 38,91 | 0,28 | 1,72 |
| 19:10 | 41,90 | 41,55 | 39,35 | 0,35 | 2,55 | 41,94 | 41,72 | 40,49 | 0,21 | 1,44 |
| 19:40 | 42,22 | 41,88 | 39,47 | 0,34 | 2,75 | 42,36 | 42,20 | 41,07 | 0,16 | 1,30 |
| 20:10 | 42,21 | 41,91 | 39,59 | 0,31 | 2,63 | 42,28 | 42,15 | 41,09 | 0,12 | 1,18 |
| 20:40 | 41,67 | 41,41 | 39,18 | 0,26 | 2,49 | 41,77 | 41,68 | 40,71 | 0,09 | 1,06 |

2) São Paulo

Tabela 78 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de fevereiro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 40,47 | 39,07 | 34,51 | 1,40 | 5,97 | 40,66 | 39,57 | 35,39 | 1,08 | 5,26 |
| 06:40 | 39,88 | 39,61 | 37,32 | 0,27 | 2,56 | 40,16 | 40,06 | 38,98 | 0,09 | 1,18 |
| 07:10 | 39,22 | 38,97 | 36,90 | 0,25 | 2,32 | 39,59 | 39,51 | 38,58 | 0,09 | 1,01 |
| 07:40 | 38,70 | 38,44 | 36,50 | 0,26 | 2,20 | 39,15 | 39,06 | 38,17 | 0,09 | 0,98 |
| 08:10 | 38,43 | 38,21 | 36,38 | 0,22 | 2,06 | 38,88 | 38,81 | 37,96 | 0,07 | 0,92 |
| 08:40 | 38,08 | 37,87 | 36,21 | 0,21 | 1,87 | 38,40 | 38,32 | 37,62 | 0,08 | 0,78 |
| 18:10 | 38,56 | 37,80 | 35,56 | 0,76 | 3,00 | 38,96 | 38,32 | 36,26 | 0,64 | 2,70 |
| 18:40 | 39,81 | 39,47 | 37,49 | 0,34 | 2,32 | 40,04 | 39,83 | 38,61 | 0,21 | 1,43 |
| 19:10 | 40,66 | 40,34 | 38,32 | 0,32 | 2,34 | 40,79 | 40,63 | 39,61 | 0,16 | 1,18 |
| 19:40 | 41,27 | 40,93 | 38,72 | 0,34 | 2,55 | 41,34 | 41,18 | 40,10 | 0,16 | 1,25 |
| 20:10 | 41,71 | 41,35 | 38,96 | 0,37 | 2,75 | 41,74 | 41,59 | 40,51 | 0,15 | 1,23 |
| 20:40 | 41,93 | 41,60 | 39,19 | 0,33 | 2,74 | 41,99 | 41,83 | 40,62 | 0,16 | 1,37 |

Tabela 79 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de maio

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 38,72 | 37,17 | 32,21 | 1,55 | 6,52 | 38,98 | 37,81 | 33,33 | 1,17 | 5,65 |
| 06:40 | 37,64 | 37,38 | 35,17 | 0,26 | 2,47 | 37,85 | 37,80 | 36,95 | 0,05 | 0,90 |
| 07:10 | 36,79 | 36,52 | 34,39 | 0,27 | 2,41 | 36,95 | 36,89 | 36,06 | 0,06 | 0,89 |
| 07:40 | 36,39 | 36,08 | 33,93 | 0,31 | 2,46 | 36,49 | 36,38 | 35,47 | 0,11 | 1,02 |
| 08:10 | 36,37 | 36,06 | 33,95 | 0,30 | 2,42 | 36,43 | 36,32 | 35,43 | 0,10 | 1,00 |
| 08:40 | 36,46 | 36,14 | 34,02 | 0,32 | 2,44 | 36,51 | 36,39 | 35,46 | 0,12 | 1,05 |
| 18:10 | 37,83 | 36,42 | 32,03 | 1,40 | 5,79 | 37,86 | 36,76 | 32,87 | 1,10 | 4,99 |
| 18:40 | 40,39 | 39,92 | 37,20 | 0,47 | 3,19 | 40,40 | 40,13 | 38,71 | 0,27 | 1,69 |
| 19:10 | 42,12 | 41,64 | 38,71 | 0,47 | 3,41 | 42,08 | 41,84 | 40,38 | 0,24 | 1,70 |
| 19:40 | 43,27 | 42,81 | 39,73 | 0,46 | 3,54 | 43,21 | 42,99 | 41,49 | 0,22 | 1,72 |
| 20:10 | 43,70 | 43,31 | 40,26 | 0,40 | 3,44 | 43,73 | 43,56 | 42,12 | 0,17 | 1,61 |
| 20:40 | 43,28 | 42,93 | 40,03 | 0,36 | 3,25 | 43,44 | 43,31 | 42,00 | 0,13 | 1,44 |

Tabela 80 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 43,28 | 41,43 | 35,60 | 1,85 | 7,69 | 43,61 | 42,31 | 36,99 | 1,30 | 6,61 |
| 06:40 | 41,71 | 41,40 | 38,90 | 0,31 | 2,80 | 42,10 | 42,06 | 41,06 | 0,05 | 1,04 |
| 07:10 | 40,19 | 39,94 | 37,62 | 0,25 | 2,57 | 40,65 | 40,63 | 39,79 | 0,02 | 0,86 |
| 07:40 | 39,26 | 38,96 | 36,66 | 0,30 | 2,60 | 39,63 | 39,54 | 38,61 | 0,09 | 1,02 |
| 08:10 | 38,84 | 38,56 | 36,36 | 0,28 | 2,47 | 39,10 | 39,03 | 38,16 | 0,07 | 0,94 |
| 08:40 | 38,46 | 38,17 | 36,05 | 0,29 | 2,41 | 38,63 | 38,53 | 37,64 | 0,10 | 0,99 |
| 18:10 | 39,66 | 38,33 | 34,14 | 1,33 | 5,52 | 39,79 | 38,75 | 35,06 | 1,04 | 4,73 |
| 18:40 | 42,29 | 41,83 | 39,18 | 0,46 | 3,11 | 42,36 | 42,09 | 40,69 | 0,26 | 1,66 |
| 19:10 | 43,95 | 43,53 | 40,75 | 0,42 | 3,19 | 43,97 | 43,75 | 42,36 | 0,22 | 1,61 |
| 19:40 | 44,30 | 43,95 | 41,24 | 0,35 | 3,05 | 44,35 | 44,20 | 42,97 | 0,14 | 1,38 |
| 20:10 | 44,09 | 43,77 | 41,16 | 0,32 | 2,93 | 44,06 | 43,94 | 42,84 | 0,12 | 1,23 |
| 20:40 | 43,36 | 43,10 | 40,60 | 0,26 | 2,76 | 43,58 | 43,50 | 42,37 | 0,08 | 1,21 |

Tabela 81 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em São Paulo – dados para o dia 15 de novembro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 43,07 | 41,19 | 35,03 | 1,88 | 8,04 | 43,29 | 41,87 | 36,32 | 1,42 | 6,97 |
| 06:40 | 42,07 | 41,76 | 39,02 | 0,31 | 3,04 | 42,43 | 42,33 | 41,11 | 0,09 | 1,32 |
| 07:10 | 41,23 | 40,91 | 38,36 | 0,32 | 2,87 | 41,69 | 41,59 | 40,49 | 0,10 | 1,20 |
| 07:40 | 40,59 | 40,30 | 37,96 | 0,29 | 2,63 | 41,08 | 41,00 | 40,00 | 0,08 | 1,08 |
| 08:10 | 39,84 | 39,56 | 37,41 | 0,28 | 2,43 | 40,33 | 40,25 | 39,34 | 0,08 | 0,99 |
| 08:40 | 39,39 | 39,10 | 37,03 | 0,29 | 2,36 | 39,86 | 39,76 | 38,87 | 0,09 | 0,99 |
| 18:10 | 40,15 | 38,81 | 34,45 | 1,34 | 5,71 | 40,54 | 39,52 | 35,71 | 1,01 | 4,83 |
| 18:40 | 41,91 | 41,45 | 38,78 | 0,46 | 3,13 | 42,12 | 41,89 | 40,50 | 0,23 | 1,61 |
| 19:10 | 43,11 | 42,65 | 39,78 | 0,46 | 3,32 | 43,20 | 42,98 | 41,55 | 0,22 | 1,66 |
| 19:40 | 43,93 | 43,46 | 40,42 | 0,47 | 3,51 | 43,96 | 43,75 | 42,26 | 0,21 | 1,71 |
| 20:10 | 44,32 | 43,88 | 40,77 | 0,44 | 3,55 | 44,43 | 44,24 | 42,74 | 0,19 | 1,69 |
| 20:40 | 43,80 | 43,42 | 40,50 | 0,38 | 3,30 | 44,11 | 43,99 | 42,66 | 0,12 | 1,45 |

3) Brasília

Tabela 82 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de fevereiro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 40,95 | 39,56 | 35,28 | 1,39 | 5,67 | 41,23 | 40,12 | 36,11 | 1,11 | 5,13 |
| 06:40 | 40,10 | 39,83 | 37,35 | 0,27 | 2,75 | 40,53 | 40,42 | 38,99 | 0,11 | 1,54 |
| 07:10 | 39,49 | 39,27 | 37,12 | 0,22 | 2,37 | 39,84 | 39,78 | 38,84 | 0,07 | 1,01 |
| 07:40 | 38,70 | 38,50 | 36,70 | 0,20 | 2,00 | 39,23 | 39,17 | 38,33 | 0,06 | 0,90 |
| 08:10 | 38,21 | 38,03 | 36,23 | 0,18 | 1,98 | 38,68 | 38,62 | 37,85 | 0,06 | 0,83 |
| 08:40 | 37,43 | 37,28 | 35,88 | 0,15 | 1,56 | 38,11 | 38,06 | 37,40 | 0,05 | 0,71 |
| 18:10 | 38,11 | 36,97 | 33,40 | 1,14 | 4,71 | 38,65 | 37,78 | 34,48 | 0,87 | 4,17 |
| 18:40 | 39,50 | 39,16 | 37,02 | 0,34 | 2,48 | 39,83 | 39,65 | 38,47 | 0,18 | 1,36 |
| 19:10 | 40,47 | 40,09 | 37,62 | 0,38 | 2,85 | 40,66 | 40,45 | 39,17 | 0,21 | 1,49 |
| 19:40 | 41,14 | 40,79 | 38,40 | 0,35 | 2,74 | 41,24 | 41,08 | 39,92 | 0,17 | 1,32 |
| 20:10 | 41,62 | 41,26 | 38,61 | 0,36 | 3,01 | 41,67 | 41,50 | 40,27 | 0,17 | 1,40 |
| 20:40 | 41,72 | 41,40 | 38,98 | 0,31 | 2,74 | 41,86 | 41,71 | 40,49 | 0,15 | 1,37 |

Tabela 83 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de maio

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 41,76 | 40,09 | 34,20 | 1,67 | 7,56 | 42,01 | 40,76 | 35,44 | 1,26 | 6,58 |
| 06:40 | 40,49 | 40,25 | 37,66 | 0,25 | 2,83 | 40,87 | 40,81 | 39,74 | 0,06 | 1,13 |
| 07:10 | 39,28 | 39,05 | 36,70 | 0,23 | 2,58 | 39,74 | 39,69 | 38,74 | 0,05 | 1,00 |
| 07:40 | 38,13 | 37,92 | 35,81 | 0,22 | 2,32 | 38,61 | 38,56 | 37,75 | 0,04 | 0,86 |
| 08:10 | 37,26 | 37,05 | 35,26 | 0,21 | 2,00 | 37,86 | 37,78 | 36,98 | 0,08 | 0,88 |
| 08:40 | 37,60 | 37,36 | 35,51 | 0,24 | 2,09 | 37,79 | 37,71 | 36,95 | 0,08 | 0,85 |
| 18:10 | 38,79 | 37,93 | 35,18 | 0,86 | 3,61 | 38,92 | 38,25 | 35,94 | 0,68 | 2,98 |
| 18:40 | 41,04 | 40,69 | 38,67 | 0,35 | 2,37 | 41,09 | 40,87 | 39,68 | 0,23 | 1,41 |
| 19:10 | 42,53 | 42,17 | 39,83 | 0,36 | 2,69 | 42,51 | 42,32 | 41,20 | 0,18 | 1,31 |
| 19:40 | 43,50 | 43,15 | 40,62 | 0,35 | 2,88 | 43,44 | 43,24 | 42,00 | 0,19 | 1,44 |
| 20:10 | 43,62 | 43,32 | 40,80 | 0,30 | 2,82 | 43,61 | 43,47 | 42,28 | 0,15 | 1,34 |
| 20:40 | 43,11 | 42,84 | 40,38 | 0,27 | 2,74 | 43,18 | 43,08 | 41,98 | 0,10 | 1,20 |

Tabela 84 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 40,63 | 39,03 | 34,01 | 1,60 | 6,62 | 40,87 | 39,69 | 35,08 | 1,18 | 5,79 |
| 06:40 | 39,50 | 39,24 | 37,03 | 0,25 | 2,47 | 39,75 | 39,69 | 38,83 | 0,06 | 0,92 |
| 07:10 | 38,78 | 38,55 | 36,39 | 0,23 | 2,39 | 38,86 | 38,79 | 37,94 | 0,07 | 0,91 |
| 07:40 | 38,32 | 38,05 | 35,89 | 0,27 | 2,43 | 38,38 | 38,28 | 37,39 | 0,09 | 0,99 |
| 08:10 | 38,15 | 37,90 | 35,75 | 0,25 | 2,40 | 38,21 | 38,13 | 37,22 | 0,09 | 0,99 |
| 08:40 | 37,85 | 37,60 | 35,56 | 0,25 | 2,29 | 37,95 | 37,86 | 36,99 | 0,09 | 0,96 |
| 18:10 | 38,60 | 37,40 | 33,41 | 1,20 | 5,19 | 38,61 | 37,72 | 34,40 | 0,89 | 4,21 |
| 18:40 | 40,39 | 39,98 | 37,55 | 0,41 | 2,84 | 40,40 | 40,19 | 38,98 | 0,21 | 1,42 |
| 19:10 | 41,42 | 41,05 | 38,60 | 0,37 | 2,82 | 41,45 | 41,28 | 40,13 | 0,17 | 1,32 |
| 19:40 | 41,75 | 41,41 | 38,96 | 0,34 | 2,79 | 41,80 | 41,67 | 40,58 | 0,13 | 1,22 |
| 20:10 | 41,44 | 41,14 | 38,76 | 0,30 | 2,69 | 41,55 | 41,46 | 40,45 | 0,09 | 1,10 |
| 20:40 | 40,72 | 40,46 | 38,22 | 0,26 | 2,50 | 40,87 | 40,79 | 39,89 | 0,07 | 0,98 |

Tabela 85 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Brasília – dados para o dia 15 de novembro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,75 | 41,23 | 36,16 | 1,52 | 6,59 | 43,02 | 41,88 | 37,22 | 1,14 | 5,80 |
| 06:40 | 41,73 | 41,49 | 39,24 | 0,24 | 2,49 | 42,14 | 42,07 | 41,09 | 0,07 | 1,05 |
| 07:10 | 40,82 | 40,60 | 38,57 | 0,22 | 2,26 | 41,30 | 41,22 | 40,34 | 0,08 | 0,96 |
| 07:40 | 40,07 | 39,86 | 38,02 | 0,21 | 2,05 | 40,63 | 40,58 | 39,78 | 0,05 | 0,85 |
| 08:10 | 39,26 | 39,08 | 37,45 | 0,19 | 1,81 | 39,82 | 39,78 | 39,10 | 0,04 | 0,72 |
| 08:40 | 38,61 | 38,44 | 36,97 | 0,18 | 1,64 | 39,13 | 39,09 | 38,48 | 0,04 | 0,64 |
| 18:10 | 38,92 | 37,98 | 34,76 | 0,94 | 4,16 | 39,36 | 38,65 | 35,95 | 0,71 | 3,42 |
| 18:40 | 40,02 | 39,69 | 37,67 | 0,33 | 2,35 | 40,31 | 40,14 | 39,15 | 0,16 | 1,16 |
| 19:10 | 41,08 | 40,78 | 38,63 | 0,30 | 2,46 | 41,29 | 41,13 | 40,06 | 0,16 | 1,23 |
| 19:40 | 41,36 | 41,09 | 38,92 | 0,27 | 2,44 | 41,47 | 41,36 | 40,39 | 0,12 | 1,08 |
| 20:10 | 41,19 | 40,94 | 38,80 | 0,25 | 2,39 | 41,34 | 41,23 | 40,26 | 0,11 | 1,08 |
| 20:40 | 40,68 | 40,45 | 38,37 | 0,22 | 2,30 | 41,04 | 40,96 | 39,98 | 0,08 | 1,06 |

4) Salvador

Tabela 86 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de fevereiro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 42,36 | 41,20 | 38,20 | 1,16 | 4,16 | 42,38 | 41,43 | 38,54 | 0,95 | 3,83 |
| 06:40 | 42,27 | 42,00 | 40,06 | 0,27 | 2,21 | 42,36 | 42,22 | 41,01 | 0,14 | 1,35 |
| 07:10 | 41,78 | 41,60 | 40,04 | 0,18 | 1,73 | 42,02 | 41,96 | 41,19 | 0,07 | 0,83 |
| 07:40 | 41,20 | 41,04 | 39,67 | 0,16 | 1,53 | 41,44 | 41,40 | 40,80 | 0,03 | 0,64 |
| 08:10 | 40,79 | 40,63 | 39,32 | 0,16 | 1,46 | 40,96 | 40,92 | 40,37 | 0,04 | 0,59 |
| 08:40 | 40,45 | 40,30 | 39,07 | 0,15 | 1,38 | 40,66 | 40,61 | 40,06 | 0,05 | 0,60 |
| 18:10 | 40,64 | 39,79 | 37,30 | 0,85 | 3,34 | 40,82 | 40,16 | 37,91 | 0,66 | 2,91 |
| 18:40 | 41,20 | 40,90 | 38,92 | 0,30 | 2,28 | 41,30 | 41,14 | 40,01 | 0,16 | 1,29 |
| 19:10 | 41,60 | 41,33 | 39,63 | 0,26 | 1,96 | 41,67 | 41,52 | 40,47 | 0,15 | 1,19 |
| 19:40 | 41,91 | 41,61 | 39,70 | 0,29 | 2,21 | 41,95 | 41,82 | 40,93 | 0,13 | 1,01 |
| 20:10 | 42,14 | 41,84 | 39,81 | 0,30 | 2,33 | 42,16 | 42,02 | 41,02 | 0,14 | 1,14 |
| 20:40 | 42,21 | 41,91 | 39,84 | 0,30 | 2,37 | 42,26 | 42,13 | 41,11 | 0,13 | 1,15 |

Tabela 87 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de maio

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 39,25 | 38,33 | 35,52 | 0,92 | 3,74 | 39,45 | 38,72 | 36,07 | 0,72 | 3,38 |
| 06:40 | 38,77 | 38,60 | 37,14 | 0,17 | 1,63 | 38,97 | 38,92 | 38,21 | 0,05 | 0,76 |
| 07:10 | 38,39 | 38,22 | 36,88 | 0,17 | 1,51 | 38,64 | 38,58 | 37,99 | 0,05 | 0,65 |
| 07:40 | 37,99 | 37,83 | 36,56 | 0,17 | 1,43 | 38,33 | 38,28 | 37,70 | 0,05 | 0,63 |
| 08:10 | 37,65 | 37,49 | 36,33 | 0,16 | 1,32 | 38,13 | 38,07 | 37,49 | 0,06 | 0,64 |
| 08:40 | 37,81 | 37,62 | 36,29 | 0,20 | 1,52 | 38,12 | 38,05 | 37,44 | 0,08 | 0,69 |
| 18:10 | 38,54 | 37,63 | 35,03 | 0,91 | 3,52 | 38,78 | 38,05 | 35,61 | 0,73 | 3,17 |
| 18:40 | 39,80 | 39,43 | 37,26 | 0,36 | 2,54 | 39,89 | 39,68 | 38,43 | 0,21 | 1,47 |
| 19:10 | 40,62 | 40,30 | 38,21 | 0,32 | 2,42 | 40,65 | 40,47 | 39,39 | 0,18 | 1,26 |
| 19:40 | 41,22 | 40,89 | 38,67 | 0,33 | 2,55 | 41,20 | 41,03 | 39,94 | 0,17 | 1,26 |
| 20:10 | 41,58 | 41,26 | 38,97 | 0,32 | 2,62 | 41,55 | 41,39 | 40,29 | 0,16 | 1,26 |
| 20:40 | 41,38 | 41,12 | 38,96 | 0,25 | 2,41 | 41,58 | 41,46 | 40,31 | 0,12 | 1,27 |

Tabela 88 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 40,18 | 39,14 | 36,35 | 1,05 | 3,84 | 40,53 | 39,65 | 36,90 | 0,87 | 3,63 |
| 06:40 | 39,56 | 39,36 | 37,74 | 0,20 | 1,82 | 39,95 | 39,88 | 38,92 | 0,08 | 1,03 |
| 07:10 | 39,10 | 38,94 | 37,52 | 0,16 | 1,58 | 39,41 | 39,36 | 38,76 | 0,04 | 0,65 |
| 07:40 | 38,51 | 38,36 | 37,09 | 0,15 | 1,43 | 38,86 | 38,82 | 38,28 | 0,04 | 0,58 |
| 08:10 | 38,10 | 37,94 | 36,72 | 0,15 | 1,37 | 38,48 | 38,43 | 37,89 | 0,05 | 0,59 |
| 08:40 | 37,94 | 37,78 | 36,52 | 0,17 | 1,42 | 38,32 | 38,25 | 37,68 | 0,06 | 0,63 |
| 18:10 | 38,59 | 37,59 | 34,71 | 1,00 | 3,87 | 38,98 | 38,17 | 35,46 | 0,80 | 3,52 |
| 18:40 | 39,82 | 39,45 | 37,26 | 0,37 | 2,56 | 40,05 | 39,83 | 38,49 | 0,22 | 1,56 |
| 19:10 | 40,66 | 40,30 | 38,00 | 0,36 | 2,67 | 40,78 | 40,60 | 39,45 | 0,18 | 1,33 |
| 19:40 | 41,17 | 40,84 | 38,57 | 0,33 | 2,60 | 41,23 | 41,07 | 39,94 | 0,16 | 1,29 |
| 20:10 | 40,95 | 40,67 | 38,61 | 0,28 | 2,34 | 41,20 | 41,07 | 40,03 | 0,13 | 1,17 |
| 20:40 | 40,55 | 40,29 | 38,17 | 0,26 | 2,38 | 40,70 | 40,62 | 39,70 | 0,08 | 1,00 |

Tabela 89 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Salvador – dados para o dia 15 de novembro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 41,53 | 40,41 | 37,44 | 1,12 | 4,10 | 41,77 | 40,84 | 37,94 | 0,93 | 3,83 |
| 06:40 | 40,88 | 40,67 | 38,92 | 0,21 | 1,96 | 41,36 | 41,26 | 40,16 | 0,10 | 1,20 |
| 07:10 | 40,46 | 40,29 | 38,77 | 0,17 | 1,68 | 41,01 | 40,95 | 40,23 | 0,06 | 0,78 |
| 07:40 | 39,89 | 39,74 | 38,49 | 0,15 | 1,40 | 40,51 | 40,47 | 39,85 | 0,04 | 0,66 |
| 08:10 | 39,63 | 39,47 | 38,14 | 0,16 | 1,49 | 40,13 | 40,08 | 39,50 | 0,05 | 0,64 |
| 08:40 | 39,48 | 39,32 | 38,03 | 0,17 | 1,45 | 39,93 | 39,87 | 39,27 | 0,06 | 0,66 |
| 18:10 | 39,86 | 38,95 | 36,31 | 0,91 | 3,55 | 40,28 | 39,54 | 37,05 | 0,74 | 3,22 |
| 18:40 | 40,65 | 40,33 | 38,33 | 0,32 | 2,32 | 40,92 | 40,74 | 39,51 | 0,18 | 1,41 |
| 19:10 | 41,22 | 40,91 | 38,83 | 0,31 | 2,40 | 41,39 | 41,23 | 40,21 | 0,15 | 1,18 |
| 19:40 | 41,64 | 41,34 | 39,35 | 0,30 | 2,29 | 41,74 | 41,59 | 40,56 | 0,15 | 1,19 |
| 20:10 | 41,96 | 41,63 | 39,36 | 0,33 | 2,59 | 42,01 | 41,87 | 40,80 | 0,15 | 1,22 |
| 20:40 | 42,19 | 41,87 | 39,71 | 0,32 | 2,48 | 42,22 | 42,07 | 40,98 | 0,15 | 1,24 |

5) Belém

Tabela 90 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de fevereiro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 40,31 | 39,08 | 35,61 | 1,23 | 4,70 | 40,65 | 39,67 | 36,35 | 0,99 | 4,30 |
| 06:40 | 39,82 | 39,57 | 37,42 | 0,25 | 2,40 | 40,21 | 40,11 | 38,80 | 0,11 | 1,41 |
| 07:10 | 39,28 | 39,05 | 37,34 | 0,23 | 1,93 | 39,76 | 39,69 | 38,88 | 0,07 | 0,88 |
| 07:40 | 38,85 | 38,65 | 37,04 | 0,19 | 1,81 | 39,37 | 39,32 | 38,58 | 0,05 | 0,79 |
| 08:10 | 38,40 | 38,22 | 36,76 | 0,18 | 1,64 | 38,92 | 38,86 | 38,19 | 0,06 | 0,73 |
| 08:40 | 38,03 | 37,86 | 36,50 | 0,17 | 1,53 | 38,55 | 38,50 | 37,87 | 0,06 | 0,68 |
| 18:10 | 38,50 | 37,60 | 34,52 | 0,90 | 3,98 | 38,94 | 38,28 | 35,56 | 0,66 | 3,38 |
| 18:40 | 39,73 | 39,40 | 37,40 | 0,33 | 2,34 | 39,97 | 39,81 | 38,82 | 0,16 | 1,15 |
| 19:10 | 40,56 | 40,23 | 38,22 | 0,33 | 2,34 | 40,70 | 40,52 | 39,43 | 0,18 | 1,27 |
| 19:40 | 41,15 | 40,78 | 38,41 | 0,37 | 2,74 | 41,23 | 41,06 | 39,92 | 0,17 | 1,30 |
| 20:10 | 41,31 | 41,00 | 38,70 | 0,31 | 2,61 | 41,51 | 41,36 | 40,13 | 0,16 | 1,38 |
| 20:40 | 40,78 | 40,52 | 38,48 | 0,26 | 2,31 | 41,19 | 41,11 | 40,15 | 0,08 | 1,04 |

Tabela 91 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de maio

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 40,94 | 39,65 | 36,04 | 1,29 | 4,90 | 41,36 | 40,31 | 36,82 | 1,05 | 4,54 |
| 06:40 | 40,31 | 40,02 | 37,73 | 0,28 | 2,58 | 40,72 | 40,61 | 39,31 | 0,11 | 1,42 |
| 07:10 | 39,72 | 39,48 | 37,73 | 0,24 | 1,99 | 40,26 | 40,18 | 39,30 | 0,08 | 0,96 |
| 07:40 | 39,41 | 39,22 | 37,51 | 0,19 | 1,90 | 39,94 | 39,87 | 39,03 | 0,06 | 0,90 |
| 08:10 | 38,91 | 38,71 | 37,24 | 0,20 | 1,67 | 39,49 | 39,44 | 38,76 | 0,06 | 0,74 |
| 08:40 | 38,59 | 38,40 | 37,04 | 0,19 | 1,55 | 39,16 | 39,10 | 38,46 | 0,06 | 0,70 |
| 18:10 | 39,06 | 38,11 | 34,79 | 0,95 | 4,27 | 39,52 | 38,81 | 35,90 | 0,71 | 3,62 |
| 18:40 | 40,11 | 39,78 | 37,65 | 0,33 | 2,46 | 40,38 | 40,20 | 39,03 | 0,18 | 1,35 |
| 19:10 | 40,82 | 40,49 | 38,40 | 0,32 | 2,42 | 40,99 | 40,84 | 39,81 | 0,15 | 1,17 |
| 19:40 | 41,35 | 41,02 | 38,68 | 0,33 | 2,67 | 41,44 | 41,28 | 40,15 | 0,17 | 1,29 |
| 20:10 | 41,50 | 41,22 | 39,04 | 0,28 | 2,46 | 41,71 | 41,56 | 40,35 | 0,15 | 1,36 |
| 20:40 | 41,03 | 40,76 | 38,79 | 0,27 | 2,24 | 41,47 | 41,38 | 40,41 | 0,09 | 1,06 |

Tabela 92 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de agosto

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 40,96 | 39,72 | 35,74 | 1,24 | 5,23 | 41,32 | 40,34 | 36,60 | 0,98 | 4,73 |
| 06:40 | 40,40 | 40,17 | 37,98 | 0,24 | 2,43 | 40,81 | 40,73 | 39,59 | 0,08 | 1,22 |
| 07:10 | 39,72 | 39,47 | 37,61 | 0,25 | 2,11 | 40,23 | 40,14 | 39,29 | 0,09 | 0,94 |
| 07:40 | 39,28 | 39,04 | 37,09 | 0,24 | 2,19 | 39,74 | 39,66 | 38,79 | 0,08 | 0,95 |
| 08:10 | 38,78 | 38,55 | 36,75 | 0,23 | 2,04 | 39,29 | 39,22 | 38,37 | 0,08 | 0,92 |
| 08:40 | 38,47 | 38,28 | 36,72 | 0,20 | 1,75 | 39,10 | 39,03 | 38,23 | 0,07 | 0,87 |
| 18:10 | 38,89 | 38,13 | 35,69 | 0,76 | 3,19 | 39,39 | 38,78 | 36,63 | 0,61 | 2,76 |
| 18:40 | 39,98 | 39,64 | 37,57 | 0,35 | 2,42 | 40,29 | 40,09 | 38,85 | 0,20 | 1,44 |
| 19:10 | 40,76 | 40,41 | 38,07 | 0,34 | 2,69 | 40,93 | 40,74 | 39,50 | 0,19 | 1,43 |
| 19:40 | 41,31 | 40,97 | 38,60 | 0,34 | 2,71 | 41,41 | 41,24 | 40,05 | 0,17 | 1,35 |
| 20:10 | 41,71 | 41,36 | 38,91 | 0,36 | 2,81 | 41,76 | 41,60 | 40,40 | 0,17 | 1,37 |
| 20:40 | 42,01 | 41,65 | 39,33 | 0,36 | 2,68 | 42,03 | 41,87 | 40,74 | 0,16 | 1,29 |

Tabela 93 – Temperatura na entrada da tubulação, saída da prumada do 12º pavimento e do 1º pavimento, para edifício multifamiliar de doze pavimentos em Belém – dados para o dia 15 de novembro

| Hora do banho | Temperaturas (°C) - sem isolamento | | | | | Temperaturas (°C) - com isolamento | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto | Entrada tubo | Saída 12º pavto | Saída 1º pavto | Diferença entre entrada e 12º pavto | Diferença entre entrada e 1º pavto |
| 06:10 | 41,45 | 40,17 | 36,02 | 1,27 | 5,43 | 41,77 | 40,79 | 36,91 | 0,99 | 4,87 |
| 06:40 | 40,77 | 40,52 | 38,33 | 0,24 | 2,43 | 41,18 | 41,09 | 39,98 | 0,09 | 1,20 |
| 07:10 | 40,40 | 40,19 | 38,13 | 0,21 | 2,27 | 40,85 | 40,78 | 39,77 | 0,07 | 1,08 |
| 07:40 | 39,94 | 39,73 | 38,00 | 0,20 | 1,93 | 40,43 | 40,36 | 39,54 | 0,07 | 0,89 |
| 08:10 | 39,46 | 39,26 | 37,77 | 0,20 | 1,69 | 39,97 | 39,91 | 39,23 | 0,06 | 0,74 |
| 08:40 | 39,14 | 38,97 | 37,61 | 0,17 | 1,53 | 39,64 | 39,58 | 38,94 | 0,05 | 0,70 |
| 18:10 | 39,44 | 38,72 | 36,58 | 0,72 | 2,85 | 39,85 | 39,27 | 37,30 | 0,58 | 2,55 |
| 18:40 | 40,33 | 40,03 | 38,30 | 0,30 | 2,03 | 40,60 | 40,43 | 39,36 | 0,17 | 1,24 |
| 19:10 | 40,98 | 40,66 | 38,76 | 0,32 | 2,22 | 41,14 | 40,99 | 40,05 | 0,15 | 1,09 |
| 19:40 | 41,46 | 41,14 | 39,19 | 0,31 | 2,27 | 41,55 | 41,40 | 40,43 | 0,15 | 1,12 |
| 20:10 | 41,77 | 41,45 | 39,42 | 0,32 | 2,36 | 41,85 | 41,70 | 40,69 | 0,15 | 1,15 |
| 20:40 | 41,71 | 41,43 | 39,41 | 0,29 | 2,30 | 41,90 | 41,78 | 40,78 | 0,13 | 1,12 |

Apêndice E - Tabelas de custos dos sistemas de aquecimento de água

D.1) Custo de investimento

As tabelas a seguir apresentam os custos de instalação dos insumos dos diferentes sistemas de aquecimento de água analisados. Algumas considerações sobre o levantamento de preços devem ser observadas:

1. O SINAPI apresenta o mesmo preço de aquecedores a gás para São Paulo, Brasília, Salvador e Belém, e um preço mais baixo para Curitiba. Foi considerado o valor mais alto em todas as cidades, visto que o aquecedor usado em Curitiba tem maior potência, o que geralmente leva a um maior custo. Esta diferença de preço entre as cidades também ocorre para os reservatórios, sendo considerado o valor mais alto em todas as cidades.
2. O SINAPI fornece os preços de tubulação de água quente de CPVC, e não de PPR. Verificou-se que o preço de mercado do metro de tubo de PPR é aproximadamente 50% menor do que o do tubo de CPVC. Deste modo, o preço dos tubos de PPR foi considerado como sendo a metade do preço dos tubos de CPVC obtidos no SINAPI. Como os diâmetros dos tubos disponíveis no SINAPI não são os mesmos considerados no trabalho, foram adotados os preços dos tubos de diâmetro próximo.
3. O maior volume de reservatório indicado no SINAPI é de 1.000 litros. Comparando-se os preços de mercado com os valores do SINAPI percebeu-se que o preço para reservatório de 1.000 litros do SINAPI é mais alto do que os reservatórios de mesma capacidade no mercado. Deste modo, optou-se por utilizar o maior preço de reservatório do SINAPI para todos os reservatórios de grande porte considerados na análise.
4. Para o sistema solar com aquecedor a gás coletivo, os aquecedores a gás possuem potência maior do que os aquecedores dos sistemas individuais. Como o SINAPI apresenta apenas um insumo de aquecedor a gás, sem indicar a potência, foi considerado para o sistema coletivo um aumento no preço unitário de aquecedor a gás do SINAPI proporcional ao aumento da potência em relação ao sistema individual.

Tabela 94 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para residência unifamiliar

| Item | Insumo/Composição | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|---|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|----------|-------------------|-----------|----------|----------|----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 1 | Chuveiro elétrico | - | - | - | - | - | - | - | - | 104,16 | 122,64 | 102,58 | 98,18 | 96,49 |
| 1.1 | Chuveiro elétrico (com fornecimento e instalação) | SINAPI | uni | 1 | 52,95 | 58,03 | 50,98 | 46,43 | 55,34 | 52,95 | 58,03 | 50,98 | 46,43 | 55,34 |
| 1.2 | Registro de esfera | SINAPI | uni | 1 | 51,21 | 64,61 | 51,60 | 51,75 | 41,15 | 51,21 | 64,61 | 51,60 | 51,75 | 41,15 |
| 2 | Aquecedor a gás individual - sem isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.736,45 | 2.816,39 | 2.740,84 | 2.737,57 | 2.667,37 |
| 2.1 | Aquecedor a gás | SINAPI | uni | 1 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 |
| 2.2 | Mão-de-obra instalação aquecedor a gás (encanador e auxiliar) | SINAPI | h | 4 | 34,29 | 37,07 | 29,74 | 33,53 | 27,56 | 137,16 | 148,28 | 118,96 | 134,12 | 110,24 |
| 2.3 | Tubo PPR (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 7,15 | 7,75 | 8,41 | 7,41 | 7,41 | 6,13 | 55,41 | 60,10 | 52,95 | 52,95 | 43,83 |
| 2.4 | Registro de gaveta entre caixa d'água e aquecedor | SINAPI | uni | 1 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 |
| 2.5 | Registro de gaveta entre aquecedor e chuveiro | SINAPI | uni | 1 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 |
| 2.6 | Misturador água quente e fria | SINAPI | uni | 1 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 |
| 2.7 | Ducha | Mercado | uni | 1 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 |
| 3 | Aquecedor a gás individual - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.746,11 | 2.826,04 | 2.750,49 | 2.747,22 | 2.677,02 |
| 3.1 | Isolamento térmico Polietileno expandido | Mercado | m | 7,15 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 9,65 | 9,65 | 9,65 | 9,65 | 9,65 |
| 4 | Solar com chuveiro elétrico - sem isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 4.558,80 | 4.597,62 | 4.482,23 | 4.247,93 | 4.149,49 |
| 4.1 | Coletor solar 1 m ² | Mercado | uni | 1 | - | - | - | 346,90 | 346,90 | - | - | - | 346,90 | 346,90 |
| 4.2 | Coletor solar 1,6 m ² | Mercado | uni | 1 | - | 565,90 | 565,90 | - | - | - | 565,90 | 565,90 | - | - |

Tabela 94 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para residência unifamiliar (continuação)

| Item | Insumo/Composição | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|--|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|----------|-------------------|-----------|----------|----------|----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 4.3 | Coletor solar 2, m² | Mercado | uni | 1 | 650,90 | - | - | - | - | 650,90 | - | - | - | - |
| 4.4 | Reservatório 200 litros | SINAPI | uni | 1 | 3.210,61 | 3.210,61 | 3.210,61 | 3.210,61 | 3.210,61 | 3.210,61 | 3.210,61 | 3.210,61 | 3.210,61 | 3.210,61 |
| 4.5 | Mão-de-obra instalação aquecimento solar (encanador e auxiliar) | SINAPI | h | 4 | 34,29 | 37,07 | 29,74 | 33,53 | 27,56 | 137,16 | 148,28 | 118,96 | 134,12 | 110,24 |
| 4.6 | Tubo de cobre (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 3,8 | 31,67 | 34,37 | 31,34 | 29,97 | 24,89 | 120,35 | 130,61 | 119,09 | 113,89 | 94,58 |
| 4.7 | Isolamento térmico dos tubos de cobre | Mercado | m | 3,8 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 5,13 | 5,13 | 5,13 | 5,13 | 5,13 |
| 4.8 | Tubo PPR (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 3 | 7,75 | 8,41 | 7,41 | 7,41 | 6,13 | 23,25 | 25,22 | 22,22 | 22,22 | 18,39 |
| 4.9 | Registro de gaveta entre caixa d'água e aquecedor | SINAPI | uni | 1 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 |
| 4.10 | Registro de gaveta (circuitos primário e secundário) | SINAPI | uni | 2 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 197,24 | 259,78 | 208,92 | 204,38 | 158,10 |
| 4.11 | Misturador água quente e fria | SINAPI | uni | 1 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 |
| 4.12 | Chuveiro elétrico (com fornecimento e instalação) | SINAPI | uni | 1 | 52,95 | 58,03 | 50,98 | 46,43 | 55,34 | 52,95 | 58,03 | 50,98 | 46,43 | 55,34 |
| 5 | Solar com chuveiro elétrico - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 4.562,85 | 4.601,67 | 4.486,28 | 4.251,98 | 4.153,54 |
| 5.1 | Isolamento térmico Polietileno expandido | Mercado | m | 3 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 4,05 | 4,05 | 4,05 | 4,05 | 4,05 |
| 6 | Solar com boiler, temperatura de armazenamento próxima a de banho - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 6.262,62 | 6.216,76 | 6.102,36 | 5.650,87 | 5.533,36 |
| 6.1 | Coletor solar 1 m² | Mercado | uni | 2 | - | - | - | 346,90 | 346,90 | - | - | - | 693,80 | 693,80 |

Tabela 94 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para residência unifamiliar (continuação)

[illegible]

Tabela 94 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para residência unifamiliar (continuação)

| Item | Insumo/Composição | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|---|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|-------|-------------------|-----------|----------|----------|--------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 7.5 | Mão-de-obra instalação aquecimento solar (encanador e auxiliar) | SINAPI | h | 4 | 34,29 | 37,07 | 29,74 | 33,53 | 27,56 | 137,16 | 148,28 | 118,96 | 134,12 | 110,24 |
| 7.6 | Tubo de cobre (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 5,8 | 31,67 | 34,37 | 31,34 | 29,97 | 24,89 | 183,69 | 199,35 | 181,77 | 173,83 | 144,36 |
| 7.7 | Isolamento térmico dos tubos de cobre | Mercado | m | 5,8 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 7,83 | 7,83 | 7,83 | 7,83 | 7,83 |
| 7.8 | Tubo PPR (com fornecimento e instalação) | SINAPI* | m | 3 | 7,75 | 8,41 | 7,41 | 7,41 | 6,13 | 23,25 | 25,22 | 22,22 | 22,22 | 18,39 |
| 7.9 | Registro de gaveta entre caixa d'água e aquecedor | SINAPI | uni | 1 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 |
| 7.10 | Registro de gaveta (circuitos primário e secundário) | SINAPI | uni | 2 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 197,24 | 259,78 | 208,92 | 204,38 | 158,10 |
| 7.11 | Misturador água quente e fria | SINAPI | uni | 1 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 |
| 7.12 | Ducha | Mercado | uni | 1 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 |
| 7.13 | Isolamento térmico Polietileno expandido | Mercado | m | 3 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 4,05 | 4,05 | 4,05 | 4,05 | 4,05 |

Tabela 95 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para o edifício multifamiliar de quatro pavimentos

| Item | Insumo/Composição | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|---|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 1 | Chuveiro elétrico | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.666,56 | 1.962,24 | 1.641,28 | 1.570,88 | 1.543,84 |
| 1.1 | Chuveiro elétrico (com fornecimento e instalação) | SINAPI | uni | 16 | 52,95 | 58,03 | 50,98 | 46,43 | 55,34 | 847,20 | 928,48 | 815,68 | 742,88 | 885,44 |
| 1.2 | Registro de esfera | SINAPI | uni | 16 | 51,21 | 64,61 | 51,60 | 51,75 | 41,15 | 819,36 | 1.033,76 | 825,60 | 828,00 | 658,40 |
| 2 | Aquecedor a gás individual - sem isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 43.783,24 | 45.062,17 | 43.853,37 | 43.801,05 | 42.677,91 |
| 2.1 | Aquecedor a gás | SINAPI | uni | 16 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 35.586,40 | 35.586,40 | 35.586,40 | 35.586,40 | 35.586,40 |
| 2.2 | Mão-de-obra instalação aquecedor a gás (encanador e auxiliar) | SINAPI | h | 64 | 34,29 | 37,07 | 29,74 | 33,53 | 27,56 | 2.194,56 | 2.372,48 | 1.903,36 | 2.145,92 | 1.763,84 |
| 2.3 | Tubo PPR (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 114,4 | 7,75 | 8,41 | 7,41 | 7,41 | 6,13 | 886,60 | 961,53 | 847,13 | 847,13 | 701,27 |
| 2.4 | Registro de gaveta entre caixa d'água e aquecedor | SINAPI | uni | 16 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 1.577,92 | 2.078,24 | 1.671,36 | 1.635,04 | 1.264,80 |
| 2.5 | Registro de gaveta entre aquecedor e chuveiro | SINAPI | uni | 16 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 1.577,92 | 2.078,24 | 1.671,36 | 1.635,04 | 1.264,80 |
| 2.6 | Misturador água quente e fria | SINAPI | uni | 16 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 | 1.001,44 | 1.026,88 | 1.215,36 | 993,12 | 1.138,40 |
| 2.7 | Ducha | Mercado | uni | 16 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 958,40 | 958,40 | 958,40 | 958,40 | 958,40 |
| 3 | Aquecedor a gás individual - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 43.937,68 | 45.216,61 | 44.007,81 | 43.955,49 | 42.832,35 |

Tabela 95 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para o edifício multifamiliar de quatro pavimentos (continuação)

| Item | Insumo/Composição | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|---|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 3.1 | Isolamento térmico Polietileno expandido | Mercado | m | 114,4 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 154,44 | 154,44 | 154,44 | 154,44 | 154,44 |
| 4 | Solar com apoio elétrico - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 39.674,04 | 37.861,35 | 34.048,78 | 30.529,83 | 30.551,64 |
| 4.1 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 26 | 650,90 | - | - | - | - | 16.923,40 | - | - | - | - |
| 4.2 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 22 | - | 650,90 | - | - | - | - | 14.319,80 | - | - | - |
| 4.3 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 17 | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 11.065,30 | - | - |
| 4.4 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 12 | - | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 7.810,80 | - |
| 4.5 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 13 | - | - | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 8.461,70 |
| 4.6 | Reservatório 2.000 litros | SINAPI | uni | 2 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 16.793,58 | 16.793,58 | 16.793,58 | 16.793,58 | 16.793,58 |
| 4.7 | Mão-de-obra instalação aquecimento solar (encanador e auxiliar) | SINAPI | h | 16 | 34,29 | 37,07 | 29,74 | 33,53 | 27,56 | 548,64 | 593,12 | 475,84 | 536,48 | 440,96 |
| 4.8 | Tubo de cobre (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 35,8 | 31,67 | 34,37 | 31,34 | 29,97 | 24,89 | 1.133,79 | 1.230,45 | 1.121,97 | 1.072,93 | 891,06 |
| 4.9 | Isolamento térmico dos tubos de cobre | Mercado | m | 35,8 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 48,33 | 48,33 | 48,33 | 48,33 | 48,33 |
| 4.10 | Tubo PPR 32 mm (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 8 | 15,84 | 17,19 | 15,67 | 14,99 | 12,45 | 126,68 | 137,48 | 125,36 | 119,88 | 99,56 |
| 4.11 | Tubo PPR 25 mm (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 20 | 11,41 | 12,38 | 11,11 | 10,85 | 9,00 | 228,20 | 247,60 | 222,10 | 216,90 | 179,90 |
| 4.12 | Registro de gaveta entre caixa d'água e aquecedor | SINAPI | uni | 1 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 |

Tabela 95 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para o edifício multifamiliar de quatro pavimentos (continuação)

| Item | Insumo/Composição | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|---|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 4.13 | Registro de gaveta (circuitos primário e secundário) | SINAPI | uni | 2 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 197,24 | 259,78 | 208,92 | 204,38 | 158,10 |
| 4.14 | Registros de gaveta nos apartamentos | SINAPI | uni | 16 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 1.577,92 | 2.078,24 | 1.671,36 | 1.635,04 | 1.264,80 |
| 4.15 | Misturador água quente e fria | SINAPI | uni | 16 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 | 1.001,44 | 1.026,88 | 1.215,36 | 993,12 | 1.138,40 |
| 4.16 | Ducha | Mercado | uni | 16 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 958,40 | 958,40 | 958,40 | 958,40 | 958,40 |
| 4.17 | Isolamento térmico Polietileno expandido | Mercado | m | 28 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 37,80 | 37,80 | 37,80 | 37,80 | 37,80 |
| 5 | Solar com apoio a gás - sem isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 39.960,46 | 38.147,77 | 34.335,20 | 30.371,42 | 30.393,23 |
| 5.1 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 26 | 650,90 | - | - | - | - | 16.923,40 | - | - | - | - |
| 5.2 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 22 | - | 650,90 | - | - | - | - | 14.319,80 | - | - | - |
| 5.3 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 17 | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 11.065,30 | - | - |
| 5.4 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 12 | - | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 7.810,80 | - |
| 5.5 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 13 | - | - | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 8.461,70 |
| 5.6 | Reservatório 4.000 litros | Mercado | uni | 1 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 |
| 5.7 | Reservatório 500 litros (gás) | SINAPI | uni | 1 | 5.162,37 | 5.162,37 | 5.162,37 | 5.162,37 | 5.162,37 | 5.162,37 | 5.162,37 | 5.162,37 | 5.162,37 | 5.162,37 |
| 5.8 | Aquecedores a gás | SINAPI | uni | 1 | 3.558,64 | 3.558,64 | 3.558,64 | 3.113,81 | 3.113,81 | 3.558,64 | 3.558,64 | 3.558,64 | 3.113,81 | 3.113,81 |
| 5.9 | Mão-de-obra instalação aquecimento solar (encanador e auxiliar) | SINAPI | h | 16 | 34,29 | 37,07 | 29,74 | 33,53 | 27,56 | 548,64 | 593,12 | 475,84 | 536,48 | 440,96 |
| 5.10 | Tubo de cobre (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 35,8 | 31,67 | 34,37 | 31,34 | 29,97 | 24,89 | 1.133,79 | 1.230,45 | 1.121,97 | 1.072,93 | 891,06 |

Tabela 95 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para o edifício multifamiliar de quatro pavimentos (continuação)

| Item | Insumo/Composição | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|--|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|-------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 5.11 | Isolamento térmico dos tubos de cobre | Mercado | m | 35,8 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 48,33 | 48,33 | 48,33 | 48,33 | 48,33 |
| 5.12 | Tubo PPR 32 mm (com fornecimento e instalação) | SINAPI* | m | 8 | 15,84 | 17,19 | 15,67 | 14,99 | 12,45 | 126,68 | 137,48 | 125,36 | 119,88 | 99,56 |
| 5.13 | Tubo PPR 25 mm (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 20 | 11,41 | 12,38 | 11,11 | 10,85 | 9,00 | 228,20 | 247,60 | 222,10 | 216,90 | 179,90 |
| 5.14 | Registro de gaveta entre caixa d'água e aquecedor | SINAPI | uni | 1 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 |
| 5.15 | Registro de gaveta (circuitos primário e secundário) | SINAPI | uni | 2 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 197,24 | 259,78 | 208,92 | 204,38 | 158,10 |
| 5.16 | Registros de gaveta nos apartamentos | SINAPI | uni | 16 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 1.577,92 | 2.078,24 | 1.671,36 | 1.635,04 | 1.264,80 |
| 5.17 | Misturador água quente e fria | SINAPI | uni | 16 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 | 1.001,44 | 1.026,88 | 1.215,36 | 993,12 | 1.138,40 |
| 5.18 | Ducha | Mercado | uni | 16 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 958,40 | 958,40 | 958,40 | 958,40 | 958,40 |
| 6 | Solar com apoio a gás - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 39.998,26 | 38.185,57 | 34.373,00 | 30.409,22 | 30.431,08 |
| 6.1 | Isolamento térmico Polietileno expandido | Mercado | m | 28 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 37,80 | 37,80 | 37,80 | 37,80 | 37,80 |

Tabela 96 – Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para o edifício multifamiliar de doze pavimentos

| Item | Insumo/Composição | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|---|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|----------|-------------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 1 | Chuveiro elétrico | - | - | - | - | - | - | - | - | 4.999,68 | 5.886,72 | 4.923,84 | 4.712,64 | 4.631,52 |
| 1.1 | Chuveiro elétrico (com fornecimento e instalação) | SINAPI | uni | 48 | 52,95 | 58,03 | 50,98 | 46,43 | 55,34 | 2.541,60 | 2.785,44 | 2.447,04 | 2.228,64 | 2.656,32 |
| 1.2 | Registro de esfera | SINAPI | uni | 48 | 51,21 | 64,61 | 51,60 | 51,75 | 41,15 | 2.458,08 | 3.101,28 | 2.476,80 | 2.484,00 | 1.975,20 |
| 2 | Aquecedor a gás individual - sem isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 131.349,72 | 135.186,52 | 131.560,12 | 131.403,16 | 128.033,74 |
| 2.1 | Aquecedor a gás | SINAPI | uni | 48 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 2.224,15 | 106.759,20 | 106.759,20 | 106.759,20 | 106.759,20 | 106.759,20 |
| 2.2 | Mão-de-obra instalação aquecedor a gás (encanador e auxiliar) | SINAPI | h | 192 | 34,29 | 37,07 | 29,74 | 33,53 | 27,56 | 6.583,68 | 7.117,44 | 5.710,08 | 6.437,76 | 5.291,52 |
| 2.3 | Tubo PPR (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 343,2 | 7,75 | 8,41 | 7,41 | 7,41 | 6,13 | 2.659,80 | 2.884,60 | 2.541,40 | 2.541,40 | 2.103,82 |
| 2.4 | Registro de gaveta entre caixa d'água e aquecedor | SINAPI | uni | 48 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 4.733,76 | 6.234,72 | 5.014,08 | 4.905,12 | 3.794,40 |
| 2.5 | Registro de gaveta entre aquecedor e chuveiro | SINAPI | uni | 48 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 4.733,76 | 6.234,72 | 5.014,08 | 4.905,12 | 3.794,40 |
| 2.6 | Misturador água quente e fria | SINAPI | uni | 48 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 | 3.004,32 | 3.080,64 | 3.646,08 | 2.979,36 | 3.415,20 |
| 2.7 | Ducha | Mercado | uni | 48 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 2.875,20 | 2.875,20 | 2.875,20 | 2.875,20 | 2.875,20 |
| 3 | Aquecedor a gás individual - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 131.813,04 | 135.649,84 | 132.023,44 | 131.866,48 | 128.497,06 |
| 3.1 | Isolamento térmico Polietileno expandido | Mercado | m | 343,2 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 463,32 | 463,32 | 463,32 | 463,32 | 463,32 |
| 4 | Solar com apoio elétrico - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 71.934,65 | 67.515,88 | 58.950,73 | 51.697,82 | 50.129,24 |
| 4.1 | Coletor solar 2 m² | Mercado | uni | 60 | 650,90 | - | - | - | - | 39.054,00 | - | - | - | - |

Tabela 96 - Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para o edifício multifamiliar de doze pavimentos (continuação)

| Item | Insumo/Composição | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|---|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 4.2 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 50 | - | 650,90 | - | - | - | - | 32.545,00 | - | - | - |
| 4.3 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 39 | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 25.385,10 | - | - |
| 4.4 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 29 | - | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 18.876,10 | - |
| 4.5 | Coletor solar 2 m ² | Mercado | uni | 29 | - | - | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 18.876,10 |
| 4.6 | Reservatório 5.000 litros | Mercado | uni | 2 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | - | - | 16.793,58 | 16.793,58 | 16.793,58 | - | - |
| 4.7 | Reservatório 4.000 litros | Mercado | uni | 2 | - | - | - | 8.396,79 | 8.396,79 | - | - | - | 16.793,58 | 16.793,58 |
| 4.8 | Mão-de-obra instalação aquecimento solar (encanador e auxiliar) | SINAPI | h | 48 | 34,29 | 37,07 | 29,74 | 33,53 | 27,56 | 1.645,92 | 1.779,36 | 1.427,52 | 1.609,44 | 1.322,88 |
| 4.9 | Tubo de cobre (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 79,8 | 31,67 | 34,37 | 31,34 | 29,97 | 24,89 | 2.527,27 | 2.742,73 | 2.500,93 | 2.391,61 | 1.986,22 |
| 4.10 | Isolamento térmico dos tubos de cobre | Mercado | m | 79,8 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 107,73 | 107,73 | 107,73 | 107,73 | 107,73 |
| 4.11 | Tubo PPR 25 mm (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 7 | 11,41 | 12,38 | 11,11 | 10,85 | 9,00 | 79,87 | 86,66 | 77,74 | 75,92 | 62,97 |
| 4.12 | Tubo PPR 32 mm (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 27 | 15,84 | 17,19 | 15,67 | 14,99 | 12,45 | 427,55 | 464,00 | 423,09 | 404,60 | 336,02 |
| 4.13 | Tubo PPR 40 mm (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 20 | 15,84 | 17,19 | 15,67 | 14,99 | 12,45 | 316,70 | 343,70 | 313,40 | 299,70 | 248,90 |
| 4.14 | Registro de gaveta entre caixa d'água e aquecedor | SINAPI | uni | 1 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 |
| 4.15 | Registro de gaveta (circuitos primário e secundário) | SINAPI | uni | 2 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 197,24 | 259,78 | 208,92 | 204,38 | 158,10 |
| 4.16 | Registros de gaveta nos apartamentos | SINAPI | uni | 48 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 4.733,76 | 6.234,72 | 5.014,08 | 4.905,12 | 3.794,40 |

Tabela 96 - Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para o edifício multifamiliar de doze pavimentos (continuação)

| Item | Insumo/Composição | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|---|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 4.17 | Misturador água quente e fria | SINAPI | uni | 48 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 | 3.004,32 | 3.080,64 | 3.646,08 | 2.979,36 | 3.415,20 |
| 4.18 | Ducha | Mercado | uni | 48 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 2.875,20 | 2.875,20 | 2.875,20 | 2.875,20 | 2.875,20 |
| 4.19 | Isolamento térmico Polietileno expandido | Mercado | m | 54 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 72,90 | 72,90 | 72,90 | 72,90 | 72,90 |
| 5 | Solar com apoio a gás - sem isolamento | - | - | - | - | - | - | - | - | 79.868,69 | 75.449,92 | 66.439,94 | 58.297,37 | 56.283,96 |
| 5.1 | Coletor solar 2 m² | Mercado | uni | 60 | 650,90 | - | - | - | - | 39.054,00 | - | - | - | - |
| 5.2 | Coletor solar 2 m² | Mercado | uni | 50 | - | 650,90 | - | - | - | - | 32.545,00 | - | - | - |
| 5.3 | Coletor solar 2 m² | Mercado | uni | 39 | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 25.385,10 | - | - |
| 5.4 | Coletor solar 2 m² | Mercado | uni | 29 | - | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 18.876,10 | - |
| 5.5 | Coletor solar 2 m² | Mercado | uni | 29 | - | - | - | - | 650,90 | - | - | - | - | 18.876,10 |
| 5.6 | Reservatório 6.000 litros | Mercado | uni | 1 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 |
| 5.7 | Reservatório 1000 litros (gás) | SINAPI | uni | 1 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 | 8.396,79 |
| 5.8 | Aquecedores a gás | SINAPI | uni | 1 | 8.006,94 | 8.006,94 | 7.562,11 | 6.672,45 | 6.227,62 | 8.006,94 | 8.006,94 | 7.562,11 | 6.672,45 | 6.227,62 |
| 5.9 | Mão-de-obra instalação aquecimento solar (encanador e auxiliar) | SINAPI | h | 48 | 34,29 | 37,07 | 29,74 | 33,53 | 27,56 | 1.645,92 | 1.779,36 | 1.427,52 | 1.609,44 | 1.322,88 |
| 5.10 | Tubo de cobre (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 79,8 | 31,67 | 34,37 | 31,34 | 29,97 | 24,89 | 2.527,27 | 2.742,73 | 2.500,93 | 2.391,61 | 1.986,22 |
| 5.11 | Isolamento térmico dos tubos de cobre | Mercado | m | 79,8 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 107,73 | 107,73 | 107,73 | 107,73 | 107,73 |
| 5.12 | Tubo PPR 25 mm (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 7 | 11,41 | 12,38 | 11,11 | 10,85 | 9,00 | 79,87 | 86,66 | 77,74 | 75,92 | 62,97 |

Tabela 96 - Detalhamento do custo de investimento dos sistemas de aquecimento para o edifício multifamiliar de doze pavimentos (continuação)

| Item | Insumo/ Composição | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Item | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|--|-------------------------------|---------|------|----------------------|-----------|----------|-----------|----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo |
| 5.13 | Tubo PPR 32 mm (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 27 | 15,84 | 17,19 | 15,67 | 14,99 | 12,45 | 427,55 | 464,00 | 423,09 | 404,60 | 336,02 |
| 5.14 | Tubo PPR 40 mm (com fornecimento e instalação) | SINAPI | m | 20 | 15,84 | 17,19 | 15,67 | 14,99 | 12,45 | 316,70 | 343,70 | 313,40 | 299,70 | 248,90 |
| 5.15 | Registro de gaveta entre caixa d'água e aquecedor | SINAPI | uni | 1 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 |
| 5.16 | Registro de gaveta (circuitos primário e secundário) | SINAPI | uni | 2 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 197,24 | 259,78 | 208,92 | 204,38 | 158,10 |
| 5.17 | Registros de gaveta nos apartamentos | SINAPI | uni | 48 | 98,62 | 129,89 | 104,46 | 102,19 | 79,05 | 4.733,76 | 6.234,72 | 5.014,08 | 4.905,12 | 3.794,40 |
| 5.18 | Misturador água quente e fria | SINAPI | uni | 48 | 62,59 | 64,18 | 75,96 | 62,07 | 71,15 | 3.004,32 | 3.080,64 | 3.646,08 | 2.979,36 | 3.415,20 |
| 5.19 | Ducha | Mercado | uni | 48 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 59,90 | 2.875,20 | 2.875,20 | 2.875,20 | 2.875,20 | 2.875,20 |
| 6 | Solar com apoio a gás - com isolamento | - | - | - | - | - | - | - | - | 79.941,59 | 75.522,82 | 66.512,84 | 58.370,27 | 56.356,86 |
| 6.1 | Isolamento térmico Polietileno expandido | Mercado | m | 54 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 72,90 | 72,90 | 72,90 | 72,90 | 72,90 |

D.2) Custo de operação

Tabela 97 – Detalhamento do custo de operação dos sistemas de aquecimento para residência unifamiliar

| Item | Insumo | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|--|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|-------|-------------------|-----------|----------|----------|--------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 1 | Chuveiro elétrico | - | - | - | - | - | - | - | - | 603,20 | 508,58 | 440,40 | 352,62 | 284,21 |
| 1.1 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 919,6 | 0,49 | - | - | - | - | 452,75 | - | - | - | - |
| 1.2 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 821,2 | - | 0,44 | - | - | - | - | 358,12 | - | - | - |
| 1.3 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 766,4 | - | - | 0,37 | - | - | - | - | 283,05 | - | - |
| 1.4 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 467,3 | - | - | - | 0,39 | - | - | - | - | 181,47 | - |
| 1.5 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 442,1 | - | - | - | - | 0,49 | - | - | - | - | 218,51 |
| 1.6 | Água | Concessionária | m³ | 32,9 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 150,45 | 150,45 | 157,35 | 171,15 | 65,70 |
| 2 | Aquecedor a gás individual | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.793,44 | 1.543,11 | 1.541,52 | 1.190,26 | 842,25 |
| 2.1 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 305,5 | 3,90 | - | - | - | - | 1.191,63 | - | - | - | - |
| 2.2 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 276,0 | - | 3,41 | - | - | - | - | 941,29 | - | - | - |
| 2.3 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 257,7 | - | - | 3,54 | - | - | - | - | 912,11 | - | - |
| 2.4 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 157,0 | - | - | - | 3,22 | - | - | - | - | 505,66 | - |
| 2.5 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 148,6 | - | - | - | - | 3,90 | - | - | - | - | 579,45 |
| 2.6 | Água | Concessionária | m³ | 131,4 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 601,81 | 601,81 | 629,41 | 684,59 | 262,80 |
| 3 | Solar com chuveiro elétrico - sem isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 302,05 | 264,99 | 226,51 | 195,21 | 90,10 |
| 3.1 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 307,9 | 0,49 | - | - | - | - | 151,60 | - | - | - | - |
| 3.2 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 262,6 | - | 0,44 | - | - | - | - | 114,54 | - | - | - |
| 3.3 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 187,3 | - | - | 0,37 | - | - | - | - | 69,16 | - | - |
| 3.4 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 62,0 | - | - | - | 0,39 | - | - | - | - | 24,06 | - |

Tabela 97 – Detalhamento do custo de operação dos sistemas de aquecimento para residência unifamiliar (continuação)

| Item | Insumo | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|--|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|-----------|----------|-------------------|----------|-----------|----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo |
| 3.5 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 49,4 | - | - | - | - | 0,49 | - | - | - | - | 24,40 |
| 3.6 | Água | Concessionária | m³ | 32,9 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 150,45 | 150,45 | 157,35 | 171,15 | 65,70 |
| 4 | Solar com chuveiro elétrico - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 297,54 | 260,87 | 222,72 | 192,69 | 87,16 |
| 4.1 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 298,8 | 0,49 | - | - | - | - | 147,08 | - | - | - | - |
| 4.2 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 253,2 | - | 0,44 | - | - | - | - | 110,42 | - | - | - |
| 4.3 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 177,0 | - | - | 0,37 | - | - | - | - | 65,37 | - | - |
| 4.4 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 55,5 | - | - | - | 0,39 | - | - | - | - | 21,54 | - |
| 4.5 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 43,4 | - | - | - | - | 0,49 | - | - | - | - | 21,46 |
| 4.6 | Água | Concessionária | m³ | 32,9 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 150,45 | 150,45 | 157,35 | 171,15 | 65,70 |
| 5 | Solar com boiler, temperatura de armazenamento próxima a de banho - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.964,22 | 1.609,77 | 1.418,78 | 1.025,80 | 658,74 |
| 5.1 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 2767,4 | 0,49 | - | - | - | - | 1.362,41 | - | - | - | - |
| 5.2 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 2311,3 | - | 0,44 | - | - | - | - | 1.007,96 | - | - | - |
| 5.3 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 2137,4 | - | - | 0,37 | - | - | - | - | 789,37 | - | - |
| 5.4 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 878,6 | - | - | - | 0,39 | - | - | - | - | 341,20 | - |
| 5.5 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 801,1 | - | - | - | - | 0,49 | - | - | - | - | 395,94 |
| 5.6 | Água | Concessionária | m³ | 131,4 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 601,81 | 601,81 | 629,41 | 684,59 | 262,80 |
| 6 | Solar com boiler, temperatura de armazenamento 60°C - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.775,13 | 2.352,22 | 2.070,59 | 1.680,10 | 1.516,23 |

Tabela 97 – Detalhamento do custo de operação dos sistemas de aquecimento para residência unifamiliar (continuação)

| Item | Insumo | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|------------------|-------------------------|---------|------------|----------------------|----------|-----------|----------|-----------|-------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| | | | | | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba |
| 6.1 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 4414,5 | 0,49 | - | - | - | - | 2.173,32 | - | - | - | - |
| 6.2 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 4013,7 | - | 0,44 | - | - | - | - | 1.750,41 | - | - | - |
| 6.3 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 3902,4 | - | - | 0,37 | - | - | - | - | 1.441,18 | - | - |
| 6.4 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 2563,4 | - | - | - | 0,39 | - | - | - | - | 995,51 | - |
| 6.5 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 2536,0 | - | - | - | - | 0,49 | - | - | - | - | 1.253,43 |
| 6.6 | Água | Concessionária | m³ | 131,4 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 601,81 | 601,81 | 629,41 | 684,59 | 262,80 |

Tabela 98 – Detalhamento do custo de operação dos sistemas de aquecimento para edifício multifamiliar de quatro pavimentos

| Item | Insumo | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|---|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|-------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 1 | Chuveiro elétrico | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.651,26 | 8.137,22 | 7.046,45 | 5.641,94 | 4.547,41 |
| 1.1 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 14.714,3 | 0,49 | - | - | - | - | 7.244,01 | - | - | - | - |
| 1.2 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 13.138,8 | - | 0,44 | - | - | - | - | 5.729,97 | - | - | - |
| 1.3 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 12.262,9 | - | - | 0,37 | - | - | - | - | 4.528,83 | - | - |
| 1.4 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 7.476,5 | - | - | - | 0,39 | - | - | - | - | 2.903,56 | - |
| 1.5 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 7.073,8 | - | - | - | - | 0,49 | - | - | - | - | 3.496,21 |
| 1.6 | Água | Concessionária | m³ | 525,6 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 2.407,25 | 2.407,25 | 2.517,62 | 2.738,38 | 1.051,20 |
| 2 | Aquecedor a gás individual | - | - | - | - | - | - | - | - | 28.695,00 | 24.689,71 | 24.664,32 | 19.044,11 | 13.476,06 |
| 2.1 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 4.888,7 | 3,90 | - | - | - | - | 19.066,01 | - | - | - | - |
| 2.2 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 4.416,6 | - | 3,41 | - | - | - | - | 15.060,72 | - | - | - |
| 2.3 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 4.122,5 | - | - | 3,54 | - | - | - | - | 14.593,82 | - | - |
| 2.4 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 2.512,6 | - | - | - | 3,22 | - | - | - | - | 8.090,61 | - |
| 2.5 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 2.377,2 | - | - | - | - | 3,90 | - | - | - | - | 9.271,26 |
| 2.6 | Água | Concessionária | m³ | 2.102,4 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 9.628,99 | 9.628,99 | 10.070,50 | 10.953,50 | 4.204,80 |
| 3 | Solar com apoio elétrico - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 22.082,97 | 18.321,36 | 16.510,14 | 14.399,09 | 7.545,72 |
| 3.1 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 25.297,0 | 0,49 | - | - | - | - | 12.453,98 | - | - | - | - |
| 3.2 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 19.931,6 | - | 0,44 | - | - | - | - | 8.692,36 | - | - | - |
| 3.3 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 17.437,0 | - | - | 0,37 | - | - | - | - | 6.439,64 | - | - |
| 3.4 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 8.872,1 | - | - | - | 0,39 | - | - | - | - | 3.445,59 | - |

Tabela 98 – Detalhamento do custo de operação dos sistemas de aquecimento para edifício multifamiliar de quatro pavimentos (continuação)

| Item | Insumo | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|--|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|-----------|----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo |
| 3.5 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 6.759,6 | - | - | - | - | 0,49 | - | - | - | - | 3.340,92 |
| 3.6 | Água | Concessionária | m³ | 2.102,4 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 9.628,99 | 9.628,99 | 10.070,50 | 10.953,50 | 4.204,80 |
| 4 | Solar com apoio a gás - sem isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 16.476,78 | 13.981,00 | 13.614,58 | 12.392,68 | 5.210,82 |
| 4.1 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 1.755,8 | 3,90 | - | - | - | - | 6.847,79 | - | - | - | - |
| 4.2 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 1.276,2 | - | 3,41 | - | - | - | - | 4.352,01 | - | - | - |
| 4.3 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 1.001,2 | - | - | 3,54 | - | - | - | - | 3.544,08 | - | - |
| 4.4 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 446,9 | - | - | - | 3,22 | - | - | - | - | 1.439,18 | - |
| 4.5 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 258,0 | - | - | - | - | 3,90 | - | - | - | - | 1.006,02 |
| 4.6 | Água | Concessionária | m³ | 2.102,4 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 9.628,99 | 9.628,99 | 10.070,50 | 10.953,50 | 4.204,80 |
| 5 | Solar com apoio a gás - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 16.166,00 | 13.718,93 | 13.330,36 | 12.234,94 | 5.038,99 |
| 5.1 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 1.676,2 | 3,90 | - | - | - | - | 6.537,00 | - | - | - | - |
| 5.2 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 1.199,4 | - | 3,41 | - | - | - | - | 4.089,94 | - | - | - |
| 5.3 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 920,9 | - | - | 3,54 | - | - | - | - | 3.259,86 | - | - |
| 5.4 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 398,0 | - | - | - | 3,22 | - | - | - | - | 1.281,43 | - |
| 5.5 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 213,9 | - | - | - | - | 3,90 | - | - | - | - | 834,19 |
| 5.6 | Água | Concessionária | m³ | 2.102,4 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 9.628,99 | 9.628,99 | 10.070,50 | 10.953,50 | 4.204,80 |

Tabela 99 – Detalhamento do custo de operação dos sistemas de aquecimento para edifício multifamiliar de doze pavimentos

| Item | Insumo | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|---|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|----------|-------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém | Curitiba | São Paulo | Brasília | Salvador | Belém |
| 1 | Chuveiro elétrico | - | - | - | - | - | - | - | - | 28.953,77 | 24.411,65 | 21.139,36 | 16.925,81 | 13.642,23 |
| 1.1 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 44.143,0 | 0,49 | - | - | - | - | 21.732,03 | - | - | - | - |
| 1.2 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 39.416,5 | - | 0,44 | - | - | - | - | 17.189,91 | - | - | - |
| 1.3 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 36.788,8 | - | - | 0,37 | - | - | - | - | 13.586,48 | - | - |
| 1.4 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 22.429,4 | - | - | - | 0,39 | - | - | - | - | 8.710,68 | - |
| 1.5 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 21.221,3 | - | - | - | - | 0,49 | - | - | - | - | 10.488,63 |
| 1.6 | Água | Concessionária | m³ | 1.576,8 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 7.221,74 | 7.221,74 | 7.552,87 | 8.215,13 | 3.153,60 |
| 2 | Aquecedor a gás individual | - | - | - | - | - | - | - | - | 86.085,00 | 74.069,13 | 73.992,95 | 57.132,34 | 40.428,19 |
| 2.1 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 14.666,2 | 3,90 | - | - | - | - | 57.198,03 | - | - | - | - |
| 2.2 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 13.249,9 | - | 3,41 | - | - | - | - | 45.182,16 | - | - | - |
| 2.3 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 12.367,6 | - | - | 3,54 | - | - | - | - | 43.781,46 | - | - |
| 2.4 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 7.537,8 | - | - | - | 3,22 | - | - | - | - | 24.271,83 | - |
| 2.5 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 7.131,7 | - | - | - | - | 3,90 | - | - | - | - | 27.813,79 |
| 2.6 | Água | Concessionária | m³ | 6.307,2 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 28.886,98 | 28.886,98 | 30.211,49 | 32.860,51 | 12.614,40 |
| 3 | Solar com apoio elétrico - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 70.548,07 | 60.584,88 | 55.234,69 | 47.998,54 | 29.868,40 |
| 3.1 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 84.623,7 | 0,49 | - | - | - | - | 41.661,10 | - | - | - | - |
| 3.2 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 72.683,3 | - | 0,44 | - | - | - | - | 31.697,90 | - | - | - |
| 3.3 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 67.756,6 | - | - | 0,37 | - | - | - | - | 25.023,20 | - | - |
| 3.4 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 38.979,4 | - | - | - | 0,39 | - | - | - | - | 15.138,03 | - |
| 3.5 | Energia elétrica | Aneel | kWh | 34.909,5 | - | - | - | - | 0,49 | - | - | - | - | 17.254,00 |

Tabela 99 – Detalhamento do custo de operação dos sistemas de aquecimento para edifício multifamiliar de doze pavimentos (continuação)

| Item | Insumo | Fonte pesquisa de preço | Unidade | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | | | | | Preço total (R\$) | | | | |
|------|--|-------------------------|---------|------------|----------------------|-----------|----------|-----------|----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo | Curitiba | São Paulo |
| 3.6 | Água | Concessionária | m³ | 6.307,2 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 28.886,98 | 28.886,98 | 30.211,49 | 32.860,51 | 12.614,40 |
| 4 | Solar com apoio a gás - sem isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 59.104,92 | 50.878,07 | 50.982,62 | 41.902,72 | 22.897,71 |
| 4.1 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 7.748,2 | 3,90 | - | - | - | - | 30.217,95 | - | - | - | - |
| 4.2 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 6.449,0 | - | 3,41 | - | - | - | - | 21.991,09 | - | - | - |
| 4.3 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 5.867,6 | - | - | 3,54 | - | - | - | - | 20.771,13 | - | - |
| 4.4 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 2.808,1 | - | - | - | 3,22 | - | - | - | - | 9.042,21 | - |
| 4.5 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 2.636,7 | - | - | - | - | 3,90 | - | - | - | - | 10.283,31 |
| 4.6 | Água | Concessionária | m³ | 6.307,2 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 28.886,98 | 28.886,98 | 30.211,49 | 32.860,51 | 12.614,40 |
| 5 | Solar com apoio a gás - com isolamento nos tubos | - | - | - | - | - | - | - | - | 58.216,06 | 47.418,51 | 50.011,50 | 40.938,00 | 21.581,21 |
| 5.1 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 7.520,3 | 3,90 | - | - | - | - | 29.329,08 | - | - | - | - |
| 5.2 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 5.434,5 | - | 3,41 | - | - | - | - | 18.531,53 | - | - | - |
| 5.3 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 5.593,2 | - | - | 3,54 | - | - | - | - | 19.800,01 | - | - |
| 5.4 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 2.508,5 | - | - | - | 3,22 | - | - | - | - | 8.077,49 | - |
| 5.5 | Gás liquefeito de petróleo | SINAPI | kg | 2.299,2 | - | - | - | - | 3,90 | - | - | - | - | 8.966,81 |
| 5.6 | Água | Concessionária | m³ | 6.307,2 | 4,58 | 4,58 | 4,79 | 5,21 | 2,00 | 28.886,98 | 28.886,98 | 30.211,49 | 32.860,51 | 12.614,40 |

Anexo A - Método para dimensionamento do sistema de aquecimento de água a gás de acumulação segundo a NBR 16057 (ANBT, 2012)

1) Determinação do volume diário de água quente nos pontos de consumo.

Para o levantamento do volume de consumo de água quente na temperatura de uso (V_{consumo}), devem ser levados em consideração a quantidade dos usuários, o perfil dos usuários (tempo de uso) e a característica dos pontos de consumo (vazão máxima).

2) Determinação do volume de consumo de água quente corrigido para temperatura de armazenamento (volume corrigido).

O volume corrigido é calculado pela Equação 8.

$$V_{\text{corrigido}} = \frac{V_{\text{consumo}} \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{água,fria}})}{(T_{\text{armaz}} - T_{\text{água,fria}})} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

$V_{\text{corrigido}}$ é o volume de consumo de água quente na temperatura de armazenamento (litros);

V_{consumo} é o volume de consumo de água quente na temperatura de uso (litros);

T_{consumo} é a temperatura de consumo de utilização (°C);

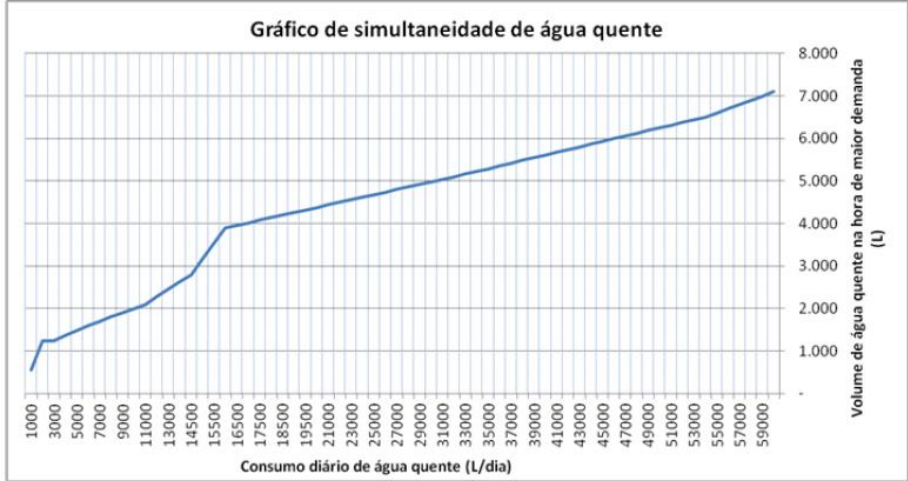
T_{armaz} é a temperatura de armazenamento da água (°C);

$T_{\text{água fria}}$ é a temperatura da água fria no local de instalação (°C).

3) Determinação do volume de água quente para o período de maior consumo

O volume de pico (V_{pico}) é o volume de água quente máximo consumido em 1 hora no período de maior consumo. Para conjuntos de unidades habitacionais, a NBR 16057 recomenda que o volume de pico seja obtido da Figura 76.

Figura 76 – Fator de simultaneidade para unidades habitacionais residenciais.



Fonte: NBR 16057 (ABNT, 2012).

- 4) Determinação do volume mínimo de água quente armazenada
O volume mínimo do reservatório é calculado pela Equação 9.

$$V_{armaz\ g\acute{a}s} = V_{pico} \times F_{armaz}$$

Equação 9

Onde:

$V_{armaz\ g\acute{a}s}$ é o volume mínimo de armazenamento (litros);

V_{pico} é o volume de água quente máximo consumido em 1h (litros);

F_{armaz} é o fator de minoração para determinar o volume mínimo de armazenamento, obtido da Tabela 100 (mínimo 100 litros).

Tabela 100 – Fator de armazenamento

| V_{pico} (litros) | F_{armaz} |
|---------------------|-------------|
| De 0 a 1.500 | 1/3 |
| De 1.501 a 6.000 | 1/4 |
| De 6.001 a 12.000 | 1/5 |
| De 12.001 a 20.000 | 1/6 |
| Maior que 20.001 | 1/7 |

- 5) Determinação do volume de recuperação

Para determinar a potência dos aquecedores a gás é necessário definir a capacidade de recuperação do sistema de armazenamento no

instante mais crítico, determinado anteriormente como sendo a hora de maior consumo. O volume de recuperação é determinado pela Equação 10.

$$V_{recup} = V_{pico} - V_{armaz\ g\acute{a}s} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

V_{recup} é o volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica (litros);

V_{pico} é o volume de água quente máximo consumido em 1h (litros);

$V_{armaz\ g\acute{a}s}$ é o volume mínimo de armazenamento (litros).

Determinação da potência útil dos aquecedores

$$P = \frac{q_{recup.} \times c \times (T_{armaz} - T_{\acute{a}gua\ fria})}{860} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

P é a potência útil dos aquecedores (kW);

q_{recup} é o volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica (litros/h);

c é o calor específico da água (1,00 cal/g°C);

T_{armaz} é a temperatura de armazenamento da água (°C);

$T_{\acute{a}gua\ fria}$ é a temperatura da água fria (°C).

Anexo B - Método para dimensionamento do sistema de aquecimento solar pelo RTQ-R (INMETRO, 2012)

- 1) Calcular o volume do sistema de armazenamento, de acordo com a Equação 12.

$$V_{\text{armaz}} = \frac{V_{\text{consumo}} \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}})}{(T_{\text{armaz}} - T_{\text{ambiente}})} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

V_{armaz} : volume de armazenamento do sistema de aquecimento solar (litros).

V_{consumo} : volume de consumo diário de água a ser aquecida (litros/dia). Deve-se considerar no mínimo 50 litros/pessoa/dia e a existência de duas pessoas por dormitório social e uma pessoa por dormitório de dependências de serviço;

T_{consumo} : temperatura de consumo de utilização (°C). Deve ser adotado no mínimo 40°C (para as regiões Norte e Nordeste pode-se adotar 38°C).

T_{armaz} : temperatura de armazenamento da água (°C). Esta temperatura deve ser, no mínimo, igual à temperatura de consumo;

T_{ambiente} : temperatura ambiente média anual do ar externo do local de instalação (°C), de acordo com o Anexo D da NBR 15569.

Observação: em edificações multifamiliares, pode-se adotar um fator de ocupação para o cálculo do volume de consumo diário (V_{consumo}), de acordo com a Tabela 101.

Tabela 101 – Fator de ocupação para cálculo do volume de consumo diário

| Número de UHs | Fator de ocupação |
|-----------------|-------------------|
| Até 9 UHs | 1 |
| De 10 a 19 UHs | 0,9 |
| De 20 a 39 UHs | 0,8 |
| Acima de 40 UHs | 0,7 |

2) Calcular a demanda de energia útil considerando os valores de radiação solar mês a mês, de acordo com a Equação 13.

$$DE_{mês} = V_{consumo} \times N \times (T_{consumo} - T_{AF}) \times 1,16 \times 10^{-3} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

$DE_{mês}$: demanda de energia (kWh/mês);

$V_{consumo}$: consumo diário de água quente à temperatura de referência

$T_{consumo}$ (litros/dia);

N : número de dias do mês considerado (dias/mês);

$T_{consumo}$: temperatura utilizada para a quantificação do consumo de água quente (°C);

T_{AF} : temperatura da água fria da rede (°C).

Observação: numa análise mensal é possível utilizar valores variáveis conforme as condições climáticas da região, como por exemplo, o consumo diário de água quente e a temperatura da água fria. No caso da temperatura de água fria é possível adotar valores variáveis com a temperatura ambiente média mensal da região (T_{amb}), utilizando para T_{AF} a T_{amb} menos 2°C.

3) Calcular a produção energética da instalação por meio da determinação da fração solar anual (ou porcentagem da demanda energética que é coberta pela instalação solar), através do procedimento descrito nos itens 3.1 a 3.6.

3.1) Calcular a radiação solar mensal incidente sobre a superfície inclinada dos coletores ($EI_{mês}$), de acordo com a Equação 14.

$$EI_{mês} = H_{dia} \times N \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

$EI_{mês}$: energia solar mensal incidente sobre as superfícies dos coletores (kWh/(m².mês));

H_{dia} : radiação solar incidente no plano inclinado (kWh/(m².dia)), obtida em mapas solarimétricos, variável em função da região (disponível no sitio do CRESESB ou Radiasol para latitude e longitude do local);

N : número de dias do mês.

Observação: os valores da energia incidente no coletor ($EI_{mês}$) devem ser calculados em cada mês do ano e o $EI_{mês}$ final é a média dos resultados encontrados mês a mês.

3.2) Calcular o parâmetro DI , de acordo com a Equação 15.

$$D_1 = \frac{EA_{mês}}{DE_{mês}} \quad \text{Equação 15}$$

Onde:

$DE_{mês}$: demanda de energia (kWh/mês), calculada por meio da Equação 3.44;

$EA_{mês}$: energia solar mensal absorvida pelos coletores (kWh/mês), calculada por meio da Equação 16.

$$EA_{mês} = S_c \times F'_R(\tau\alpha) \times EI_{mês} \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

S_c : superfície de absorção do coletor (m^2);

$EI_{mês}$: energia solar mensal incidente sobre as superfícies dos coletores ($kWh/(m^2 \cdot mês)$);

$F'_R(\tau\alpha)$: fator adimensional, calculado por meio da Equação 17.

$$F'_R(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha)_n \times \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \times \frac{F'_R}{F_R} \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

$F_R(\tau\alpha)_n$: fator de eficiência óptica do coletor, obtido nas tabelas do PBE para coletores solares (adimensional);

$\left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right]$: modificador do ângulo de incidência (na ausência desta informação recomenda-se adotar 0,96 para coletores com cobertura de vidro);

$\frac{F'_R}{F_R}$: fator de correção do conjunto coletor/trocador (na ausência desta informação recomenda-se adotar 0,95).

Observação: a superfície do coletor deve ser estimada ou arbitrada em função da área disponível para utilização dos coletores solares.

3.3) Calcular o parâmetro D2, de acordo com a Equação 18.

$$D_2 = \frac{EP_{mês}}{DE_{mês}} \quad \text{Equação 18}$$

Sendo que o cálculo da energia solar mensal não aproveitada pelos coletores ($EP_{mês}$) é realizado por meio da Equação 19.

$$EP_{mês} = S_c \times F'_R U_L \times (100 - T_{AMB}) \times \Delta T \times K_1 \times K_2 \quad \text{Equação 19}$$

Onde:

$EP_{mês}$: energia solar mensal não aproveitada pelos coletores (kWh/mês);

S_c : superfície do coletor solar (m²);

$F'_R U_L$: fator, em kW/(m².K), calculado pela Equação 20.

$$F'_R U_L = F_R U_L \times \frac{F'_R}{F_R} \times 10^{-3} \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

$F_R U_L$: coeficiente global de perdas do coletor, obtido nas tabelas do PBE para coletores solares (W/(m².K));

$\frac{F'_R}{F_R}$: fator de correção do conjunto coletor/trocador (na ausência desta informação recomenda-se adotar 0,95);

T_{AMB} : temperatura média mensal do local de instalação do coletor (°C);

ΔT : período de tempo considerado (horas);

K_1 : fator de correção para armazenamento, calculado pela Equação 21;

$$K_1 = \left[\frac{V}{75 \times S_c} \right]^{-0,25} \quad \text{Equação 21}$$

Onde:

V: volume de acumulação solar (litros) (recomenda-se que o valor de V seja tal que obedeça a condição $50 < \frac{V}{S_c} < 100$)

K_2 : fator de correção para o sistema de aquecimento solar que relaciona as diferentes temperaturas, calculado pela Equação 22;

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18 T_{AC} + 3,86 T_{AF} - 2,32 T_{AMB})}{(100 - T_{AMB})} \quad \text{Equação 22}$$

Onde:

T_{AC} : temperatura mínima admissível da água quente. Deve-se utilizar 45°C.

3.4) Calcular a fração solar mensal f , a partir dos valores de D_1 e D_2 , utilizando a Equação 23.

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245(D_1)^2 + 0,0018(D_2)^2 + 0,0215(D_1)^3 \quad \text{Equação 23}$$

3.5) Calcular a energia útil mensal coletada ($EU_{mês}$) pela instalação solar para a produção de água quente, através da Equação 24.

$$EU_{mês} = f \times DE_{mês} \quad \text{Equação 24}$$

Onde:

$EU_{mês}$: energia útil mensal coletada (kWh/mês);

f : fração solar mensal;

$DE_{mês}$: demanda de energia (kWh/mês), calculada por meio da Equação 13.

3.6) Calcular a fração solar anual, de acordo com a Equação 25.

$$F = \frac{\sum_1^{12} EU_{mês}}{\sum_1^{12} DE_{mês}} \quad \text{Equação 25}$$

Observação: a fração solar anual é função da área coletora S_c adotada. Caso a fração solar anual obtida não seja satisfatória, os cálculos devem ser repetidos, alterando-se a superfície de captação S_c , até que uma determinada condição estabelecida seja atendida.